

**TCVN 8114 : 2009
ISO 5168 : 2005**

Xuất bản lần 1

**ĐO DÒNG LƯU CHẤT –
QUY TRÌNH ĐÁNH GIÁ ĐỘ KHÔNG ĐẢM BẢO ĐO**

*Measurement of fluid flow –
Procedures for the evaluation of uncertainties*

Mục lục

1 Phạm vi áp dụng	5
2 Tài liệu viện dẫn	5
3 Thuật ngữ và định nghĩa	6
4 Ký hiệu và thuật ngữ viết tắt	8
4.1 Ký hiệu	8
4.2 Ký hiệu	11
5 Đánh giá độ không đảm bảo đo trong quá trình đo	11
6 Đánh giá độ không đảm bảo đo Loại A	12
6.1 Đánh giá chung	12
6.2 Quy trình tính toán	13
7 Đánh giá độ không đảm bảo đo Loại B	13
8 Hệ số nhảy	16
8.1 Tổng quan	16
8.2 Giải pháp phân tích	16
8.3 Phương pháp số học	16
9 Độ không đảm bảo đo kết hợp	17
10 Diễn đạt kết quả	18
10.1 Độ không đảm bảo đo mở rộng	18
10.2 Bảng kết hợp độ không đảm bảo đo.....	20
Phụ lục A (quy định): Quy trình chi tiết tính toán độ không đảm bảo đo	22
Phụ lục B (quy định): Các phân bố xác suất	24
Phụ lục C (quy định): Hệ số phủ	25
Phụ lục D (tham khảo): Những khái niệm thống kê cơ bản dùng trong việc đánh giá độ không đảm bảo đo Loại A	28
Phụ lục E (tham khảo): Nguồn dữ liệu để tính toán độ không đảm bảo đo.....	40
Phụ lục F (tham khảo): Các biến thiên đầu vào có tương quan.....	43
Phụ lục G (tham khảo): Các ví dụ	45
Phụ lục H (tham khảo): Hiệu chuẩn đồng hồ đo lưu lượng theo thiết bị chuẩn	65
Phụ lục I (tham khảo): Độ không đảm bảo đo Loại A và Loại B trong mối quan hệ chung với độ không đảm bảo đo từ nguồn “ngẫu nhiên” và “hệ thống” của độ không đảm bảo đo	69
Phụ lục J (tham khảo): Những trường hợp dùng hai hay nhiều đồng hồ mắc song song	71
Phụ lục K (tham khảo): Kỹ thuật biến đổi cho việc phân tích độ không đảm bảo đo	73
Thư mục tài liệu tham khảo	20

Lời nói đầu

TCVN 8114 : 2009 hoàn toàn tương đương với ISO 5168:2005.

TCVN 8114 : 2009 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn quốc gia TCVN/TC 30 *Đo lưu lượng lưu chất trong ống dẫn kín* biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Đo dòng lưu chất –

Quy trình đánh giá độ không đảm bảo đo

Measurement of fluid flow –

Procedures for the evaluation of uncertainties

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này thiết lập các nguyên lý chung và mô tả qui trình đánh giá độ không đảm bảo đo của lưu lượng hoặc lượng lưu chất hoặc đại lượng đo.

Quy trình hướng dẫn tính toán độ không đảm bảo đo nêu trong Phụ lục A.

2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau rất cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm cả các sửa đổi, bổ sung (nếu có).

TCVN 6165 (VIM : 1993), *Đo lường học – Thuật ngữ chung và cơ bản*

ISO 9300, *Measurement of gas flow by means of critical flow Venturi nozzles (Đo lưu lượng khí bằng vòi phun tới hạn Venturi)*

ISO Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM) (*Hướng dẫn thể hiện độ không đảm bảo đo*, 1995)

3 Thuật ngữ và định nghĩa

Tiêu chuẩn này sử dụng các thuật ngữ và định nghĩa nêu trong TCVN 6165 (VIM : 1993), GUM :1995 và các thuật ngữ, định nghĩa dưới đây:

3.1

Độ không đảm bảo đo (uncertainty)

Tham số, gắn với kết quả của phép đo đặc trưng cho sự phân tán của các giá trị có thể quy cho đại lượng đo một cách hợp lý.

CHÚ THÍCH: Độ không đảm bảo đo được biểu thị như một giá trị tuyệt đối và không mang dấu âm hay dương.

3.2

Độ không đảm bảo đo chuẩn (standard uncertainty)

$u(x)$

Độ không đảm bảo của kết quả đo thể hiện như là độ lệch chuẩn.

3.3

Độ không đảm bảo đo tương đối (relative uncertainty)

$u^*(x)$

Độ không đảm bảo đo chuẩn chia cho ước lượng tốt nhất.

CHÚ THÍCH 1 $u^*(x) = u(x)/x$.

CHÚ THÍCH 2 $u^*(x)$ có thể được biểu thị bằng phần trăm hoặc phần triệu.

CHÚ THÍCH 3 Độ không đảm bảo đo tương đối đôi khi gọi là độ không đảm bảo đo không thứ nguyên.

CHÚ THÍCH 4 Trong các trường hợp, ước lượng tốt nhất là trung bình số học của khoảng không đảm bảo đo liên quan.

3.4

Độ không đảm bảo đo chuẩn kết hợp (combined standard uncertainty)

$u_c(y)$

Độ không đảm bảo đo chuẩn của kết quả đo nhận được từ các giá trị của một số đại lượng khác bằng căn bậc hai dương của tổng các số hạng, các số hạng này là phương sai hoặc hiệp phương sai của các đại lượng khác được lấy trọng số phụ thuộc sự thay đổi của kết quả đo theo sự biến thiên của các đại lượng tương ứng.

3.5

Độ không đảm bảo đo kết hợp tương đối (relative combined uncertainty)

$u_c^*(y)$

Độ không đảm bảo đo kết hợp chia cho ước lượng tốt nhất.

CHÚ THÍCH 1 $u_c^*(y)$ có thể được biểu thị theo phần trăm hoặc phần triệu.

CHÚ THÍCH 2 $u_c^*(y) = u_c(y)/y$

CHÚ THÍCH 3 Độ không đảm bảo đo kết hợp tương đối đôi khi được gọi là độ không đảm bảo đo kết hợp không thứ nguyên.

CHÚ THÍCH 4 Trong các trường hợp, ước lượng tốt nhất là trung bình số học của khoảng không đảm bảo đo liên quan.

3.6**Độ không đảm bảo đo mở rộng** (expanded uncertainty) U

Đại lượng xác định một khoảng bao quanh kết quả đo được kỳ vọng bao gồm phần lớn các giá trị của phần phân bố chủ đạo có thể quy cho đại lượng đo một cách hợp lý.

CHÚ THÍCH 1 Tỷ lệ này được coi là xác suất phủ hoặc mức độ tin cậy của khoảng giá trị.

CHÚ THÍCH 2 $U = k u_c(y)$.

3.7**Độ không đảm bảo đo mở rộng tương đối** (relative expanded uncertainty) U^*

Độ không đảm bảo đo mở rộng chia cho ước lượng tốt nhất.

CHÚ THÍCH 1 U^* Có thể biểu thị theo phần trăm hoặc phần triệu.

CHÚ THÍCH 2 $U^* = k u_c^*(y)$.

CHÚ THÍCH 3 Độ không đảm bảo đo mở rộng tương đối đôi khi được gọi là độ không đảm bảo đo mở rộng không thứ nguyên.

CHÚ THÍCH 4 Trong các trường hợp, ước lượng tốt nhất là trung bình số học của khoảng không đảm bảo đo liên quan.

3.8**Hệ số phủ** (coverage factor) k

Hệ số được dùng làm số nhân của độ không đảm bảo đo chuẩn kết hợp để nhận được độ không đảm bảo đo mở rộng.

CHÚ THÍCH: Hệ số phủ thường nằm trong khoảng 2 đến 3.

3.9**Đánh giá Loại A** (Type A evaluation)

(độ không đảm bảo đo) Phương pháp đánh giá độ không đảm bảo đo bằng phân tích thống kê một chuỗi các quan trắc.

3.10**Đánh giá Loại B** (Type B evaluation)

(độ không đảm bảo đo) Phương pháp đánh giá độ không đảm bảo đo bằng các phương pháp khác với việc phân tích thống kê một chuỗi quan trắc.

3.11**Hệ số nhạy** (sensitivity coefficient) c_i

Sự thay đổi của ước lượng đầu ra, y , chia cho sự thay đổi tương ứng của ước lượng đầu vào, x_i .

3.12

Hệ số nhạy tương đối (relative sensitivity coefficient)

c_i^*

Sự thay đổi tương đối của ước lượng đầu ra, y , chia cho sự thay đổi tương đối tương ứng của ước lượng đầu vào, x_i .

4 Ký hiệu và thuật ngữ viết tắt

4.1 Ký hiệu

a_i	Một nửa phạm vi ước lượng của thành phần độ không đảm bảo đo gắn với ước lượng đầu vào, x_i , như xác định trong Phụ lục B
A_t	diện tích cổ đo
b_i	bề rộng theo phương thẳng đứng i
b'_i	giới hạn trên của phân bố độ không đảm bảo đo không đối xứng được xác định trong Phụ lục B
c_i	hệ số nhạy được dùng để nhân với độ không đảm bảo đo của ước lượng đầu vào, x_i , để thu được ảnh hưởng do sự thay đổi của đầu vào lên độ không đảm bảo đo của ước lượng đầu ra, y
c_i^*	hệ số nhạy tương đối được dùng để nhân với độ không đảm bảo đo tương đối của ước lượng đầu vào, x_i , để thu được ảnh hưởng do sự thay đổi tương đối của đại lượng đầu vào lên độ đảm bảo đo tương đối của ước lượng đầu ra, y
C_c	hệ số hiệu chuẩn
C	hệ số xả
C_V	hệ số biến thiên
d_i	độ dày theo phương thẳng đứng i
d_o	đường kính lỗ tiết lưu
$d_{o,0}$	đường kính lỗ tiết lưu đo tại nhiệt độ $T_{0,x}$
d_p	đường kính đường ống
$d_{p,0}$	đường kính ống đo tại nhiệt độ $T_{0,x}$
\overline{E}	sai số trung bình của đồng hồ đo, được biểu thị theo phân số
E_j	sai số của đồng hồ đo thứ j , được biểu thị theo phân số
f	mối liên hệ hàm số giữa ước lượng của đại lượng đo, y , và ước lượng đầu vào, x_i mà y phụ thuộc
$\frac{\partial f}{\partial x_i}$	đạo hàm riêng theo đại lượng vào, x_i , của quan hệ hàm, f , giữa đại lượng đo và các đại lượng vào
F	hệ số lưu lượng, bằng $\frac{q}{\sqrt{\Delta p_r}}$
F_{exp}	hệ số lưu lượng cho thiết kế mới
F_{Redp}	$(19\ 000 \cdot \beta / Re_{dp})^{0,8}$
F_{ref}	hệ số lưu lượng quy chiếu
F_s	hệ số, giả định là đơn nhất, liên hệ tổng rời rạc qua một số hữu hạn các đường thẳng đứng với tích phân của hàm liên tục trên mặt cắt
k	hệ số phủ dùng để tính độ không đảm bảo đo mở rộng, U
k_t	hệ số phủ được tra từ bảng, xem D.12

K	hệ số đồng hồ đo
\overline{K}	hệ số đồng hồ đo trung bình
K_j	hệ số K thứ j
l_b	độ dài của đỉnh ren
l_h	đầu đo
l_1	khoảng cách từ lỗ lấy áp phía dòng vào đến mặt phía dòng vào
L_1	l_1 chia cho đường kính đường ống, d_p
l'_2	khoảng cách từ lỗ lấy áp phía dòng ra đến mặt phía dòng ra
L'_2	l'_2 chia cho đường kính đường ống, d_p .
m	cá thể cụ thể trong một tập hợp dữ liệu
m'	số lượng các tập hợp dữ liệu chung
m''	số lượng phương thẳng đứng
M'_2	$2L'_2/(1-\beta)$
n	số giá trị đọc hoặc quan trắc lặp lại
n'	số mũ của l_h , thường là 1,5 đối với loại lỗ thoát chữ nhật và 2,5 đối với loại hình chữ V
n''	số độ dày theo phương thẳng đứng mà tại đó các phép đo vận tốc được thực hiện
N	số ước lượng đầu vào, x_i , mà đại lượng đo phụ thuộc vào
p_o	áp suất phía trước đồng hồ
Δp_{mt}	chênh áp qua đồng hồ đo kiểu lỗ tiết lưu
Δp_r	chênh áp qua bộ tản nhiệt
$P(a_i)$	xác suất để ước lượng đầu vào, x_i , có một giá trị là a_i .
q	lưu lượng thể tích
q_{ma}	lưu lượng khối lượng
Q	lưu lượng, tính bằng mét khối trên giây, tại điều kiện dòng chảy
R	hằng số khí riêng
Re_{dp}	số Reynold liên quan đến d_p , bằng $Vdp \rho / \mu$
$s_{mt,po}$	độ lệch chuẩn mẫu thực nghiệm tích lũy của các giá trị đọc từ lỗ tiết lưu
s_{pe}	độ lệch chuẩn của tập hợp dữ liệu lớn hơn được dùng với dãy dữ liệu nhỏ hơn
s_{po}	độ lệch chuẩn tích lũy từ một số dãy dữ liệu
$s_{r,po}$	độ lệch chuẩn mẫu thực nghiệm tích lũy của các số đọc của bộ tản nhiệt
$s(x)$	độ lệch chuẩn thực nghiệm của biến ngẫu nhiên, x , được xác định từ n quan trắc lặp lại
$s(\overline{x})$	độ lệch chuẩn thực nghiệm của giá trị trung bình, \overline{x}
t	thống kê Student
T_o	nhiệt độ tuyệt đối phía trước đồng hồ
$T_{o,x}$	nhiệt độ tại đó phép đo x được thực hiện
T_{op}	nhiệt độ làm việc
$u_{c,corr}(y)$	độ không đảm bảo đo kết hợp do các thành phần tương quan tác động lên các đồng hồ đo hoạt động song song
$u_{c,uncorr}(y)$	độ không đảm bảo đo kết hợp do các thành phần không tương quan tác động lên các đồng hồ đo hoạt động song song
u_{cal}^*	độ không đảm bảo đo tương đối hiệu chuẩn thiết bị thu được từ tất cả các nguồn, trước đây gọi là sai số hoặc độ chệch hệ thống

U_{cri}^*	độ không đảm bảo đo tương đối của vận tốc điểm do các đáp ứng thay đổi của đồng hồ đo dòng gây ra tại chỗ có chiều dày cụ thể theo phương thẳng đứng i
U_d^*	độ không đảm bảo đo tiêu chuẩn tương đối của hệ số xả
U_{ei}^*	độ không đảm bảo đo tương đối của vận tốc điểm do tính dao động vận tốc trong dòng chảy gây ra tại chỗ có chiều dày cụ thể theo phương thẳng đứng i
U_{lb}^*	độ không đảm bảo đo tiêu chuẩn tương đối của phép đo độ dài đỉnh ren
U_{lh}^*	độ không đảm bảo đo tiêu chuẩn tương đối của đầu đo
$U_{m'}^*$	độ không đảm bảo đo tương đối do số lượng đường thẳng đứng bị giới hạn gây ra
U_{pi}^*	độ không đảm bảo đo tương đối của vận tốc trung bình, V_i , do số lượng độ dày bị giới hạn mà tại đó phép đo vận tốc được thực hiện theo phương thẳng đứng, i
$U^*(Q)$	độ không đảm bảo đo chuẩn tương đối kết hợp ở đầu ra
U_{sm}	độ không đảm bảo đo chuẩn của một giá trị đơn lẻ dựa trên kinh nghiệm trước đó
$u(x_{i,corr})$	thành phần tương quan của độ không đảm bảo đo từng đồng hồ
$u(x_{i,uncorr})$	thành phần không tương quan của độ không đảm bảo đo từng đồng hồ
$u(x_i)$	độ không đảm bảo đo chuẩn gắn với ước lượng đầu vào, x_i
$u_c(y)$	độ không đảm bảo đo chuẩn kết hợp gắn với ước lượng đầu ra, y
$u^*(x_i)$	độ không đảm bảo đo chuẩn tương đối gắn với ước lượng đầu vào, x_i
$u_c^*(y)$	độ không đảm bảo đo chuẩn kết hợp tương đối gắn với ước lượng đầu ra, y
$U^*(y)$	độ không đảm bảo đo mở rộng tương đối gắn với ước lượng đầu ra, y
$U(y)$	độ không đảm bảo đo mở rộng gắn với ước lượng đầu ra, y
U_{CMC}	độ không đảm bảo đo toàn phần của thiết bị hiệu chuẩn
$U_{AS-overall-E}$	độ không đảm bảo đo Loại A của sai số đồng hồ đo
$U_{AS-overall-K}^*$	độ không đảm bảo đo Loại A của hệ số K
V	vận tốc trung bình trong đường ống
V_i	vận tốc trung bình theo phương thẳng đứng i
x_i	ước lượng của đại lượng đầu vào, X_i
x_m	lần quan trắc thứ m của đại lượng ngẫu nhiên, x
x_0	kích thước tại nhiệt độ $T_{0,x}$
\bar{x}	trung bình số học hoặc trị trung bình của n quan trắc lặp lại, x_m , của đại lượng thay đổi ngẫu nhiên, x .
y	ước lượng của đại lượng đo, Y
Δx_i	số gia của x_i được dùng để xác định giá trị của hệ số nhạy
Δy	số gia của y tìm được trong việc xác định trị số của hệ số nhạy
Z_n	thống kê kiểm nghiệm Grubbs đối với các giá trị bất thường
β	tỉ số đường kính lỗ tiết lưu, bằng d_0/d_p
φ_{cf}	hàm số dòng tới hạn
ϕ_F	tỉ số của hệ số F áp dụng cho thiết kế mới so với thiết kế cũ
λ	hệ số giãn nở
μ	độ nhớt động lực học của lưu chất
ρ	khối lượng riêng của lưu chất
ν	bậc tự do
V_{eff}	bậc tự do hiệu dụng
V_{po}	bậc tự do gắn với độ lệch chuẩn tích lũy

4.2 Chỉ số dưới

c	kết hợp
corr	tương quan
do	đường kính lỗ tiết lưu
dp	đường kính ống, hiệu dụng
ex	bên ngoài
i	đầu vào thứ <i>i</i>
j	dây thứ <i>j</i>
k=2	nhận được với hệ số phủ bằng 2
m	lần quan trắc thứ <i>m</i>
n	lần quan trắc thứ <i>n</i>
N	đầu vào thứ <i>N</i>
nom	giá trị danh nghĩa của
op	nhiệt độ làm việc
pe	từ thực nghiệm trước
po	tích lũy
sm	dựa trên một phép đo độc lập
t	khoảng dung sai
uncorr	không tương quan với nhau
x	của x
\bar{x}	của giá trị trung bình của x
95	với độ tin cậy 95 %

5 Đánh giá độ không đảm bảo đo trong quá trình đo

Bước đầu tiên trong việc đánh giá độ không đảm bảo đo là xác định quá trình đo. Đối với phép đo lưu lượng, thông thường phải kết hợp các giá trị của một số đại lượng đầu vào để thu được giá trị của đầu ra. Việc xác định quá trình cần thống kê được tất cả các đại lượng đầu vào có liên quan.

Phụ lục E thống kê một số loại nguồn độ không đảm bảo đo. Việc phân loại này có ý nghĩa khi xác định tất cả các nguồn độ không đảm bảo đo trong quá trình đo. Trong các phần tiếp theo giả định rằng các nguồn độ không đảm bảo đo là không tương quan, các nguồn độ không đảm bảo tương quan cần được xử lý khác nhau (xem Phụ lục F).

Việc xem xét còn phải dựa vào thời gian thực hiện phép đo, lưu ý rằng lưu lượng sẽ thay đổi theo chu kỳ thời gian và việc hiệu chuẩn cũng thay đổi theo thời gian.

Nếu mối liên hệ hàm số giữa đại lượng đầu vào X_1, X_2, \dots, X_N , và đại lượng đầu ra Y trong quá trình đo lưu lượng được quy định trong Công thức (1):

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (1)$$

thì ước lượng của Y , được biểu thị theo y , thu được từ Công thức (1) sử dụng các ước lượng đầu vào x_1, x_2, \dots, x_N được biểu thị trong Công thức (2):

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (2)$$

Với điều kiện các đại lượng đầu vào, X_i , không tương quan với nhau, độ không đảm bảo đo tổng của quá trình đo có được bằng cách tính toán và kết hợp từ độ không đảm bảo đo của mỗi hệ số đóng góp theo công thức (3):

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2} \quad (3)$$

Khi mức độ phụ thuộc lẫn nhau ít, Công thức (3) thậm chí có thể được áp dụng đối với một vài đại lượng đầu vào tương quan; TCVN 8113-1: 2009 (ISO 5167-1:2003) ^[1] là một ví dụ về điều này.

Mỗi một thành phần độ không đảm bảo đo, $u(x_i)$, được đánh giá theo một trong những phương pháp dưới đây.

- Đánh giá Loại A: được tính từ một dãy các giá trị độc bằng cách sử dụng phương pháp thống kê như mô tả trong Điều 6;
- Đánh giá Loại B: được tính bằng cách sử dụng các phương pháp khác, như là suy luận khoa học, được mô tả trong Điều 7.

Các nguồn gây ra độ không đảm bảo đo đôi khi được phân ra thành “ngẫu nhiên” hoặc “hệ thống” và mối liên hệ giữa các loại này với đánh giá Loại A và đánh giá Loại B được cho trong Phụ lục I.

Hệ số nhạy, c_i , cho biết mối liên hệ giữa độ không đảm bảo đo của từng đầu vào và độ không đảm bảo đo ở đầu ra. Phương pháp xác định các hệ số nhạy thành phần, c_i , được mô tả chi tiết trong Điều 8.

6 Đánh giá độ không đảm bảo đo Loại A

6.1 Quy định chung

Ước lượng độ không đảm bảo đo Loại A là việc sử dụng phương pháp thống kê đặc biệt là việc sử dụng phân bố của một số phép đo.

Mặc dầu không thể sử dụng số hiệu chính để loại bỏ các thành phần ngẫu nhiên của độ không đảm bảo đo, độ không đảm bảo đo gắn với của các thành phần này tăng lên không đáng kể khi số lượng phép đo tăng lên. Mục đích thực hiện một loạt các phép đo là để xác định các thay đổi ngẫu nhiên trong quá trình đo, khoảng thời gian dùng để thu thập số liệu phải phản ánh khoảng thời gian dự kiến diễn ra các thay đổi. Đối với quá trình đo dao động trong vài phút thì số đọc thu thập trong khoảng thời gian mili giây sẽ không mô tả được đầy đủ các thay đổi đó

Trong nhiều tình huống đo, không thể thực hiện được một số lượng lớn các phép đo. Trong trường hợp này, thành phần nào của độ không đảm bảo đo có thể phải được ấn định dựa trên đánh giá Loại A trước đó trên cơ sở số lượng lớn hơn các giá trị đọc được thực hiện trong cùng một điều kiện. Phải

cận thận trong việc tạo ra các ước lượng này (xem Phụ lục D) vì sẽ luôn luôn có một vài độ không đảm bảo đo nhất định gắn với giả định rằng các phép đo trước được thực hiện dưới cùng một điều kiện.

Phương pháp tính toán độ không đảm bảo đo theo giá trị đơn lẻ và theo giá trị trung bình đồng nghĩa với việc giảm bớt độ không đảm bảo đo bằng việc lấy trung bình một số giá trị đọc [Công thức (4) đến công thức (8)] và được giải thích chi tiết trong D.4 đến D.6.

6.2 Qui trình tính toán

Các công thức tính toán cho dưới đây sẽ được giải thích chi tiết trong Phụ lục D:

Độ không đảm bảo đo chuẩn của giá trị đo được, x_i , được tính theo Công thức (4) đến công thức (8) từ các phép đo của mẫu thử, $x_{i,m}$:

a) Tính giá trị trung bình của các lần đo theo Công thức (4), xem D.1:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n x_{i,m} \quad (4)$$

b) Tính độ lệch chuẩn của mẫu thử theo Công thức (5) xem D.2

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{m=1}^n (x_{i,m} - \bar{x}_i)^2} \quad (5)$$

Độ không đảm bảo đo chuẩn của một mẫu thử đơn chính là độ lệch chuẩn của mẫu đó và được tính theo Công thức (6):

$$u(x_i) = s(x_i) \quad (6)$$

c) Tính độ lệch chuẩn của giá trị trung bình theo Công thức (7); xem D.4:

$$s(\bar{x}_i) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

Độ không đảm bảo đo chuẩn của giá trị trung bình được tính theo Công thức (8):

$$u(\bar{x}_i) = s(\bar{x}_i) \quad (8)$$

Việc sử dụng giá trị trung bình của một số giá trị đọc là kỹ thuật quan trọng để giảm độ không đảm bảo đo của các giá trị đọc thay đổi một cách ngẫu nhiên. Đối với độ lệch chuẩn của Công thức (7) xem Dietrich^[2].

CHÚ THÍCH Cách tiếp cận đưa ra ở đây trình bày một quá trình đã đơn giản hóa và khi mối liên hệ hàm số được xác định bằng Công thức (1) là không tuyến tính nhiều và độ không đảm bảo đo là lớn, thì sự tiếp cận chặt chẽ hơn được trình bày trong GUM (1995), 4.1.4 sẽ cho câu trả lời chắc chắn hơn.

7 Ước lượng độ không đảm bảo đo Loại B

7.1 Quy định chung

Đánh giá độ không đảm bảo đo Loại B được thực hiện bằng các phương pháp khác với phương pháp phân tích thống kê một chuỗi các quan trắc.

Như được giải thích ở D.9, độ không đảm bảo đo Loại A dẫn đến độ rộng bằng 1 lần độ lệch chuẩn, có thể phủ khoảng 68 % giá trị có thể của đại lượng đo. Khi đánh giá độ không đảm bảo đo Loại B, cần

phải đảm bảo rằng mức độ tin cậy tương đương đạt được sao cho có thể so sánh và kết hợp các độ không đảm bảo đo thu được bằng các phương pháp đánh giá khác nhau.

Việc đánh giá loại B không nhất thiết bị chi phối bởi phân bố chuẩn và những giới hạn được ấn định có thể miêu tả những mức độ tin cậy khác nhau. Như vậy, chúng chỉ hiệu chuẩn có thể cung cấp hệ số đồng hồ cho đồng hồ loại turbin với độ tin cậy 95 % khi độ không đảm bảo đo của độ phân giải của thiết bị được xác định với độ tin cậy 100 % phạm vi giá trị được đại diện bởi số đó hơn là số cao hơn hoặc thấp hơn tiếp theo. Công thức để tính độ không đảm bảo đo tiêu chuẩn cho đối với các phân bố phổ biến khác nhau được nêu trong 7.3 đến 7.8.

7.2 Qui trình tính toán

Đánh giá độ không đảm bảo đo Loại B yêu cầu phải biết phân bố xác suất gắn với độ không đảm bảo đo. Hầu hết các phân bố xác suất thường gặp được đề cập trong 7.3 đến 7.8; dạng của phân bố được chỉ ra trong Phụ lục B.

7.3 Phân bố xác suất chữ nhật

Các ví dụ điển hình về phân bố xác suất chữ nhật bao gồm:

- độ trôi lớn nhất của thiết bị giữa các lần hiệu chuẩn;
- sai số do giới hạn của độ phân giải của bộ phận hiển thị của thiết bị hạn chế;
- giới hạn dung sai của nhà sản xuất.

Độ không đảm bảo đo chuẩn của giá trị đo được, x_i , được tính từ công thức (9):

$$u(x_i) = \frac{a_i}{\sqrt{3}} \quad (9)$$

trong đó phạm vi các giá trị đo được nằm giữa $x_i - a_i$ và $x_i + a_i$. Việc suy ra Công thức (9) được nêu trong Dietrich^[2].

7.4 Phân bố xác suất chuẩn

Ví dụ điển hình bao gồm chứng chỉ hiệu chuẩn đưa ra độ tin cậy hoặc hệ số phủ với độ không đảm bảo đo mở rộng. Ở đây, độ không đảm bảo đo chuẩn được tính theo công thức (10):

$$u(x_i) = \frac{U}{k} \quad (10)$$

Trong đó:

U là độ không đảm bảo đo mở rộng.

k là hệ số phủ được đưa ra, xem Phụ lục C.

Trong đó hệ số phủ được áp dụng cho độ không đảm bảo đo mở rộng trích dẫn. Cần cẩn thận đo đảm bảo rằng giá trị thích hợp của k được sử dụng để tìm lại độ không đảm bảo đo chuẩn cơ bản. Tuy vậy, nếu hệ số phủ không được cho trước và mức tin cậy 95 % được trích dẫn, thì k cần được giả định là 2.

7.5 Phân bố xác suất tam giác

Một vài độ không đảm bảo đo được đưa ra đơn giản như giới hạn lớn nhất chứa tất cả các giá trị của đại lượng được thừa nhận nằm trong đó. Thường thì có lý do để tin rằng những giá trị gần đường biên là ít thích hợp hơn những giá trị nằm ở trung tâm, trong trường hợp đó giả định phân bố chữ nhật có thể sẽ là quá bi quan. Trong trường hợp này, phân bố hình tam giác, như Công thức (11) có thể được thừa nhận là một sự hài hòa hợp lý giữa các giả định của phân bố chuẩn và phân bố chữ nhật.

$$u(x_i) = \frac{a_i}{\sqrt{6}} \quad (11)$$

7.6 Phân bố xác suất nhị thức

Khi sai số luôn luôn là giá trị cực trị thì có thể áp dụng phân bố xác suất nhị thức. Là có thể sử dụng và độ không đảm bảo đo chuẩn được tính bởi Công thức (12):

$$u(x_i) = a_i \quad (12)$$

Hiếm khi được tìm thấy. Trong đo lưu lượng hiếm có ví dụ về phân bố loại này.

7.7 Ấn định phân bố xác suất

Khi nguồn thông tin về độ không đảm bảo đo được xác định rõ ràng, như từ giấy chứng nhận hiệu chuẩn hoặc dung sai được nhà sản xuất cung cấp thì sự chọn lựa phân bố xác suất sẽ rõ ràng. Tuy vậy, khi thông tin chưa được xác định rõ ràng, ví dụ như khi đánh giá tác động của sự khác nhau giữa các điều kiện hiệu chuẩn và sử dụng, thì việc chọn lựa phân bố trở thành vấn đề đánh giá có tính chuyên nghiệp của kỹ sư thiết bị.

7.8 Phân bố xác suất không đối xứng

Những trường hợp trên là phân bố đối xứng, tuy vậy đôi khi có trường hợp mà biên trên và biên dưới của đại lượng đầu vào, X_i , là không đối xứng về giá trị ước lượng tốt nhất, x_i . Trong trường hợp không có thông tin về phân bố, GUM khuyến nghị giả định phân bố chữ nhật với toàn phạm trù bằng phạm vi từ giới hạn cao đến giới hạn thấp. Khi đó độ không đảm bảo đo chuẩn được tính theo Công thức (13):

$$u(x_i) = \frac{a_i + b_i'}{\sqrt{12}} \quad (13)$$

Trong đó $(x_i - a_i) < X_i < (x_i + b_i')$

Cách tiếp cận ít cực đoan hơn là lấy phân bố chữ nhật dựa trên giá trị lớn hơn trong hai giới hạn không đối xứng.

$$u(x_i) = \text{giá trị lớn hơn trong hai giá trị } \frac{a_i}{\sqrt{3}} \text{ hoặc } \frac{b_i'}{\sqrt{3}} \quad (14)$$

Nếu thành phần không đối xứng của độ không đảm bảo đo thể hiện một phần rất đáng của độ không đảm bảo đo tổng thể, thì điều thích hợp hơn là xem xét một cách tiếp cận khác cho sự phân tích ví dụ như phân tích Monte Carlo: xem Phụ lục K.

Một ví dụ tổng quát về phân bố không đối xứng là độ trôi của thiết bị do những sự thay đổi về mặt cơ khí, ví dụ như tăng ma sát trong ổ bi của đồng hồ đo loại turbine hoặc sự ăn mòn các cạnh của lỗ tiết lưu.

8 Hệ số nhạy

8.1 Quy định chung

Trước khi xem xét các phương pháp tính toán độ không đảm bảo đo kết hợp, không những phải xem xét đến độ lớn của độ không đảm bảo đo do các đại lượng đầu vào gây ra mà còn phải xét đến cả ảnh hưởng của từng đại lượng đầu vào lên kết quả cuối cùng. Ví dụ, độ không đảm bảo đo của đường kính 50 μm hoặc của hệ số giãn nở nhiệt 5 % là không có ý nghĩa đối với dòng qua tấm tiết lưu nếu không biết ảnh hưởng của đường kính hay độ giãn nở nhiệt tác động đến phép đo lưu lượng như thế nào. Vì vậy, vẫn đưa vào khái niệm về độ nhạy của đại lượng đầu ra theo đại lượng đầu vào được gọi là hệ số nhạy và đôi khi còn được gọi là hệ số ảnh hưởng.

Hệ số nhạy của mỗi đại lượng đầu vào nhận được bằng một trong hai cách sau:

- phân tích, hoặc
- số học.

8.2 Giải pháp phân tích

Khi mối liên hệ hàm số được thiết lập theo Công thức (1), hệ số nhạy được xác định bằng tỷ lệ thay đổi của đại lượng đầu ra, y , theo đại lượng đầu vào, x_i và giá trị của nó thu được bằng cách lấy đạo hàm riêng theo Công thức (15):

$$c_i = \frac{\partial y}{\partial x_i} \quad (15)$$

Tuy nhiên, khi sử dụng độ không đảm bảo đo không thứ nguyên (ví dụ độ không đảm bảo đo tính theo phần trăm), thì cũng phải sử dụng hệ số nhạy không thứ nguyên tính theo Công thức (16):

$$c_i^* = \frac{\partial y}{\partial x_i} \frac{x_i}{y} \quad (16)$$

Trong một vài trường hợp đặt biệt nào đó, ví dụ, trong thí nghiệm hiệu chuẩn đã thực hiện mối liên hệ hàm giữa đầu vào và đầu ra đơn, giá trị c_i hoặc c_i^* có thể là đồng nhất. Ví dụ 1 trong Phụ lục G đưa ra ví dụ về một vòi phun được hiệu chuẩn.

8.3 Giải pháp số

Trong trường hợp không có mối quan hệ về toán học hoặc mối quan hệ hàm số phức tạp, để đơn giản hơn người ta xác định các hệ số

nhạy dưới dạng số thông qua việc tính toán tác động do sự thay đổi nhỏ tại biến đầu vào, x_i , lên giá trị của đầu ra, y .

Đầu tiên sử dụng x_i để xác định y , sau đó sử dụng $(x_i + \Delta x_i)$ để xác định lại y , trong đó Δx_i là số gia nhỏ của x_i . Kết quả được diễn đạt dưới dạng $y + \Delta y$, trong đó Δy là số gia của y do Δx_i .

Khi đó, hệ số nhạy được tính theo Công thức (17):

$$c_i \approx \frac{\Delta y}{\Delta x_i} \quad (17)$$

Độ nhạy không thứ nguyên hoặc tương đối, được xác định theo Công thức (18):

$$c_i^* \approx \frac{\Delta y}{\Delta x_i} \frac{x_i}{y} \quad (18)$$

Bảng 1 đưa ra cách tính hệ số nhạy thường áp dụng với tất cả các hàm số có dạng $y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$.

Bảng 1– Bảng cài đặt để tính toán hệ số nhạy

Hệ số nhạy	Số gia	x_1	x_2	....	x_i	x_N	y	c	c^*
–	–	x_1	x_2	...	x_i	x_N	$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) = y_{nom}$	–	–
C_1	$\Delta x_i \approx 10^{-6} \cdot x_1$	$x_i + \Delta x_i$	x_2	....	x_i	x_N	$y_i = f(x_i + \Delta x_i, x_2, \dots, x_N)$	$\frac{(y_1 - y_{nom})}{\Delta x_i}$	$c_1 \cdot \frac{x_1}{y_{nom}}$

Giải pháp phân tích tính đạo hàm của y theo x_i tại giá trị danh nghĩa, x_i , trong khi đó giải pháp số học lại tính được đạo hàm trung bình của y trong khoảng từ x_i đến $(x_i + \Delta x_i)$. Vì vậy, trong thực tế nên sử dụng độ biến thiên (Δx_i) nhỏ như trong thực tế và tất nhiên không lớn hơn độ không đảm bảo đo của tham số x_i . Tuy nhiên, sự phức tạp có thể xuất hiện nếu độ biến thiên nhỏ đến mức làm cho sự thay đổi trong kết quả được tính toán, y , có thể so sánh với độ phân giải của máy tính cá nhân hay bảng tính của máy tính. Trong những trường hợp này việc tính toán c_i có thể trở nên không ổn định. Để tránh xảy ra vấn đề trên nên bắt đầu tính với Δx_i có giá trị bằng độ không đảm bảo đo của x_i và giảm dần giá trị của Δx_i cho đến khi giá trị c_i phù hợp với kết quả trước trong phạm vi dung sai thích hợp. Quá trình lặp này có thể tự động tính toán bằng bảng tính trong máy tính.

9 Kết hợp các độ không đảm bảo đo

Khi độ không đảm bảo đo chuẩn của các đại lượng đầu vào và hệ số nhạy kèm theo của chúng được xác định theo đánh giá Loại A hay Loại B thì độ không đảm bảo đo tổng của đại lượng đầu ra được xác định theo Công thức (19):

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2} \quad (19)$$

Trong trường hợp sử dụng độ không đảm bảo đo tương đối, bắt buộc phải sử dụng hệ số nhạy tương đối khi đó độ không đảm bảo đo tổng của đại lượng đầu ra được tính theo Công thức (20):

$$u_c^*(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i^* u^*(x_i)]^2} \quad (20)$$

Công thức (19) và (20) giả định rằng các đại lượng đầu vào là không tương quan với nhau; việc xử lý các độ không đảm bảo đo có tương quan được thảo luận trong C.6. Mối tương quan xảy ra khi dùng cùng một thiết bị đo để thực hiện nhiều phép đo hoặc khi các thiết bị đo được hiệu chuẩn theo cùng một chuẩn.

Nói chung, việc lựa chọn giữa độ không đảm bảo đo tương đối hay độ không đảm bảo đo tuyệt đối không quan trọng. Tuy nhiên, khi thực hiện tính độ không đảm bảo đo theo loại nào thì vấn đề cần lưu ý là tất cả các độ không đảm bảo đo đều phải được thể hiện theo cùng loại đó. Các phép đo có điểm không tùy ý sẽ xuất hiện nhiều vấn đề nếu độ không đảm bảo đo được thể hiện dưới dạng tương đối. Ví dụ độ không đảm bảo đo 1 mm của đường kính 500 mm có độ không đảm bảo đo tương đối là 0,2 %, nếu thể hiện theo inch thì độ không đảm bảo đo là 0,0394 in. của 19,69 in. là in còn độ không đảm bảo đo tương đối không thay đổi. Tuy vậy, nếu độ không đảm bảo đo của nhiệt độ 20⁰ C là 0,5⁰ C, thì độ không đảm bảo đo tương đối là 2,5 %, nhưng khi biểu thị giá trị theo độ F, nhiệt độ trên trở thành 68⁰ F và độ không đảm bảo đo là 0,9⁰ F, còn độ không đảm bảo đo tương đối là 1,3 %. Trong các trường hợp này nên sử dụng độ không đảm bảo đo tuyệt đối thay cho độ không đảm bảo đo tương đối. Độ không đảm bảo đo tương đối chỉ nên sử dụng khi dựa trên một phép đo được sử dụng để tính kết quả cuối cùng.

10 Thể hiện kết quả

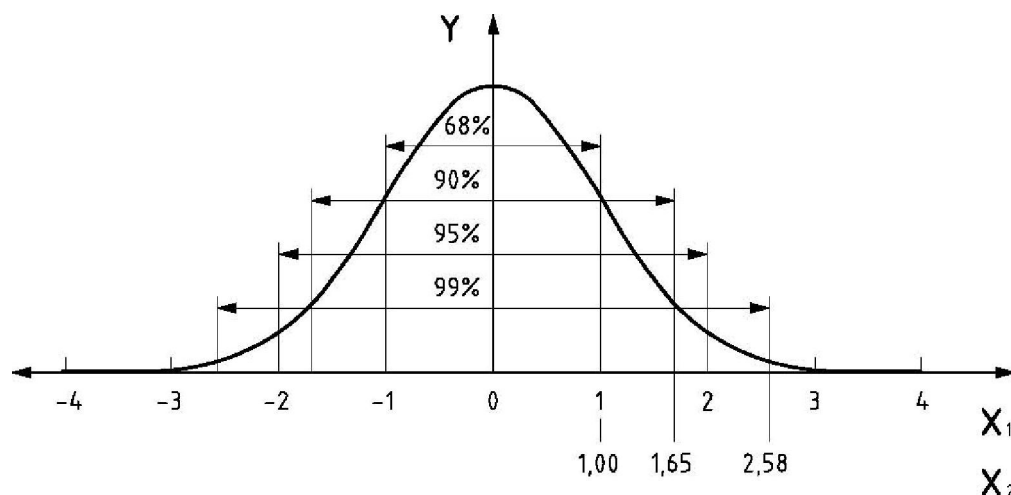
10.1 Độ không đảm bảo đo mở rộng

Theo Công thức (19) và (20), kết quả cuối cùng thu được từ việc kết hợp các đóng góp của độ không đảm bảo đo chuẩn của từng nguồn đầu vào lên độ không đảm bảo của kết quả đo. Do vậy, độ không đảm bảo đo kết hợp cuối cùng cũng là độ không đảm bảo đo chuẩn; theo Hình 1, có thể thấy rằng, với hệ số phủ k bằng 1, phạm vi kết quả được xác định theo độ không đảm bảo đo chuẩn sẽ chỉ ứng với độ tin cậy khoảng 68 % đi kèm. Do đó có 2:1 khả năng là giá trị thực của kết quả đo sẽ nằm trong dải, hoặc 1 trong 3 khả năng là nó sẽ nằm ngoài dải. Các số lẻ như vậy ít có giá trị trong các số hạng thiết kế và yêu cầu thông thường là đưa ra công bố về độ không đảm bảo đo ứng với độ tin cậy 90 % hoặc 95 %; trong một số trường hợp đặc biệt, có thể yêu cầu độ tin cậy 99 % hay cao hơn. Để đạt được độ tin cậy mong muốn, độ không đảm bảo đo mở rộng, U , được tính theo Công thức (21):

$$U = k u_c(y) \quad (21)$$

Hoặc độ không đảm bảo đo mở rộng tương đối được tính theo Công thức (22):

$$U^* = k u_c^*(y) \quad (22)$$

**CHÚ DẪN:**

X_1 là độ lệch chuẩn

X_2 là hệ số phủ

Y là phần trăm giá trị đọc trong băng tần.

Hình 1 – Hệ số phủ ứng với những độ tin cậy khác nhau theo phân bố chuẩn hoặc phân bố Gaussian

Trong hầu hết các ứng dụng hệ số phủ, $k = 2$ được sử dụng để qui định mức tin cậy xấp xỉ 95 %; việc chọn lựa hệ số phủ sẽ tùy thuộc vào yêu cầu của ứng dụng. Giá trị của k áp dụng đối với các mức tin cậy khác nhau được cho ở Bảng 2.

Bảng 2 – Hệ số phủ ứng với các độ tin cậy khác nhau theo phân bố chuẩn hoặc phân bố Gaussian

Độ tin cậy, %	68,27	90,00	95,00	95,45	99,00	99,73
Hệ số phủ, k	1,000	1,645	1,960	2,000	2,576	3,000

Nếu thành phần ngẫu nhiên tham gia vào độ không đảm bảo đo lớn so với các thành phần khác và số các số đọc nhỏ, thì phương pháp trên đưa ra một hệ số phủ tối ưu. Trong trường hợp này, qui trình nêu trong Phụ lục C được sử dụng để ước lượng hệ số phủ thực tế. Chuẩn mực này sử dụng để xác định việc có nên áp dụng quy trình mô tả trong Phụ lục C hay không.

Nói chung, nếu việc đánh giá độ không đảm bảo đo chỉ bao gồm đánh giá Loại A và độ không đảm bảo đo chuẩn Loại A này nhỏ hơn một nửa độ không đảm bảo đo chuẩn kết hợp, thì không cần thiết phải sử dụng phương pháp mô tả trong Phụ lục C để xác định giá trị của hệ số phủ, với điều kiện số lần quan trắc được dùng trong đánh giá Loại A phải lớn hơn 2.

Độ không đảm bảo đo gắn với với độ không đảm bảo đo mở rộng được biểu thị bằng cách sử dụng các chỉ số dưới.

VÍ DỤ: U_{95} hoặc $U_k = 2$.

10.2 Bảng tổng hợp độ không đảm bảo đo

Trong các báo cáo công bố giá trị ước lượng độ không đảm bảo, nên thể hiện bằng các thành phần đánh giá độ không đảm bảo đo gồm ít nhất các thông tin nêu trong Bảng 3:

Bảng 3 – Bảng tổng hợp độ không đảm bảo đo

Ký hiệu	Nguồn độ không đảm bảo đo	Độ không đảm bảo đo đầu vào	Phân bố xác suất	Hệ số chia [xem công thức (9) đến (14)]	Độ không đảm bảo đo chuẩn $u(x_i)$	Hệ số nhạy c_i	Đóng góp vào độ không đảm bảo đo tổng thể $[c_i u(x_i)]^2$
$u(x_1)$	Ví dụ: hiệu chuẩn	5	Chuẩn	2	2,5	0,5	1,56
$u(x_2)$	Ví dụ: độ phân giải của đầu ra	1	Chữ nhật	$\sqrt{3}$	0,58	2,0	1,35
...							
$u(x_i)$							
$u(x_N)$							
u_c	Độ không đảm bảo đo kết hợp	–	–	–	$u_c(y) = \sqrt{\sum}$	$\leftarrow a$	$= \sum [c_i u(x_i)]^2$
U	Độ không đảm bảo đo mở rộng	$= k u_c(y)$	$\leftarrow a$	k	$\leftarrow a$	–	–

^a các mũi tên trong hai hàng cuối cùng chỉ ra rằng các dòng trên được tính toán theo chiều từ trái qua phải còn những dòng này tính toán độ không đảm bảo đo mở rộng cuối cùng được tính từ phải qua trái.

Bảng 3 chỉ ra rằng các số hạng tuyệt đối và mỗi đầu vào và độ không đảm bảo đo chuẩn tương ứng sẽ có đơn vị của tham số đầu vào thích hợp. Tương tự, Bảng 3 cũng chỉ ra rằng số hạng tương đối mà trong đó tất cả đầu vào và kết quả độ không đảm bảo đo chuẩn sẽ có đơn vị là phần trăm hoặc phần triệu. Trong đó đầu vào đều là độ không đảm bảo đo chuẩn thì các cột “độ không đảm bảo đo đầu vào”, “phân bố xác suất” và “hệ số chia” có thể được bỏ qua.

Nếu việc tính toán độ không đảm bảo tổng hợp đáp ứng yêu cầu kết quả thử nghiệm để có một độ không đảm bảo đo quy định và việc phân tích chỉ ra rằng mức đó bị vượt quá giới hạn, Bảng tổng hợp có thể có giá trị đặc biệt trong việc xác định nguồn độ không đảm bảo đo lớn nhất như là một bộ chỉ báo của khu vực có vấn đề cần được xác định.

Sau khi độ không đảm bảo đo mở rộng được tính toán ở độ tin cậy nhỏ nhất là 95 %, kết quả đo cần được công bố như dưới đây:

- “Kết quả đo là [giá trị].
- “Độ không đảm bảo đo của kết quả là [giá trị] (biểu thị bằng số hạng tuyệt đối hoặc tương đối, khi thích hợp)”.
- “Độ không đảm bảo đo được báo cáo trên cơ sở độ không đảm bảo đo chuẩn nhân với hệ số phủ $k = 2$, với độ tin cậy khoảng 95 %”.

Trong trường hợp mà qui trình trong Phụ lục C được áp dụng, giá trị thực tế của hệ số phủ cần được thay thế cho $k = 2$. Trong trường hợp sử dụng độ tin cậy lớn hơn 95 %, hệ số phủ k và độ tin cậy phù hợp cần được thông báo.

Trong báo cáo kết quả của bất kỳ phân tích độ không đảm bảo đo, điều quan trọng là phải trình bày rõ ràng để thấy độ không đảm bảo được báo cáo là độ không đảm bảo của một giá trị đơn, của trung bình của một số quy định các giá trị, hoặc của việc làm khớp đường cong dựa vào một số quy định các giá trị.

Phụ lục A
(quy định)
Quy trình tính độ không đảm bảo đo

A.1 Độ không đảm bảo đo có thứ nguyên và không thứ nguyên

Quyết định xem ước lượng độ không đảm bảo đo có thứ nguyên hay không có thứ nguyên (ví dụ phần triệu hoặc phần trăm) sẽ được dùng để tránh nhầm lẫn. Khi đưa ra quyết định, cần lưu ý hướng dẫn ở Điều 9 liên quan đến những tham số có tùy ý cần được ghi nhớ.

A.2 Quan hệ toán học

Xác định mối quan hệ toán học giữa các đại lượng đầu vào và đại lượng đầu ra theo Công thức (1):

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N);$$

CHÚ THÍCH: Các chỉ số trong công thức được nhắc đến trong phụ lục này tương ứng với chỉ số trong phần nội dung.

A.3 Độ không đảm bảo đo chuẩn**A.3.1 Quy định chung**

Xác định các nguồn độ không đảm bảo đo trong từng đại lượng đầu vào; xem Phụ lục E. Ước lượng độ không đảm bảo đo chuẩn cho từng nguồn. Phương pháp tính cho mỗi thành phần phụ thuộc ước lượng độ không đảm bảo đo được cho và gắn với phân bố xác suất. Dữ liệu có thể sử dụng cho tính độ không đảm bảo đo chuẩn theo một trong những phương pháp tiếp theo sau đây.

A.3.2 Đánh giá Loại A- Độ lệch chuẩn trung bình của các phép đo lặp lại

$$u(\bar{x}_i) = s(\bar{x}_i)$$

Xem Công thức (8).

A.3.3 Đánh giá Loại B – Dựa trên đánh giá kinh nghiệm chủ quan**A.3.3.1 Phân bố xác suất chữ nhật**

$$u(x_i) = \frac{a_i}{\sqrt{3}}$$

Xem Hình B.1 và Công thức (9)

A.3.3.2 Phân bố xác suất chuẩn.

$$u(x_i) = \frac{U}{k}$$

Xem Hình B.2 và Công thức (10).

A.4 Hệ số nhạy**A.4.1 Quy định chung**

Hệ số nhạy có thể được tính toán có thứ nguyên hoặc không có thứ nguyên theo bằng cách sử dụng phương pháp phân tích hoặc phương pháp số học. Việc chọn hệ số nhạy có thứ nguyên hoặc không thứ nguyên sẽ được xác định bằng việc chọn lựa được thực hiện trong A.1.

A.4.2 Thứ nguyên

$$c_i = \frac{\partial y}{\partial x_i} \approx \frac{\Delta y}{\Delta x_i}$$

Xem Công thức (15) và (17).

A.4.3 Không thứ nguyên

$$c^*_i = \frac{\partial y}{\partial x} \frac{x_i}{y} \approx \frac{\Delta y}{\Delta x_i} \frac{x_i}{y}$$

Xem Công thức (16) và (18).

A.5 Độ không đảm bảo đo tổng hợp**A.5.1 Quy định chung**

Quyết định xem các đầu vào bất kỳ có tương quan với nhau không. Nếu không tương quan, tính độ không đảm bảo đo chuẩn tổng hợp theo A.5.2 hoặc A.5.3. Tương quan với nhau thì việc tính toán thực hiện theo hướng dẫn trong Phụ lục F.

A.5.2 Có thứ nguyên

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2}$$

Xem Công thức (19).

A.5.3 Không thứ nguyên

$$u_c^*(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i^* u^*(x_i)]^2}$$

Xem Công thức (20)

A.6 Đại lượng đầu vào không tin cậy

Khi dùng đại lượng đầu vào không tin cậy, ví dụ như cỡ mẫu nhỏ, thì cần sử dụng qui trình ở Phụ lục C cần được dùng để xác định hệ số phủ cho việc tính toán độ không đảm bảo đo mở rộng theo A.7.

A.7 Độ không đảm bảo đo mở rộng

Tính độ không đảm bảo đo mở rộng.

$$U = k u_c(y)$$

Xem Công thức (21)

Hoặc
$$U^* = k u_c^*(y)$$

Xem Công thức (22).

A.8 Biểu thị kết quả

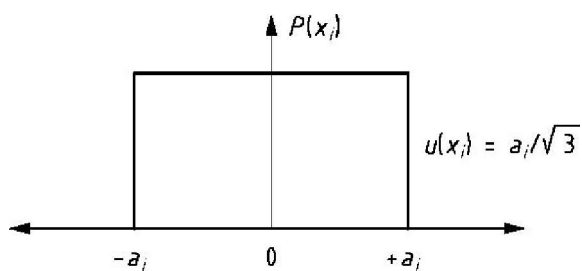
Kết quả được tính toán theo Phụ lục A phải được báo cáo như trình bày trong Điều 10.

Phụ lục B

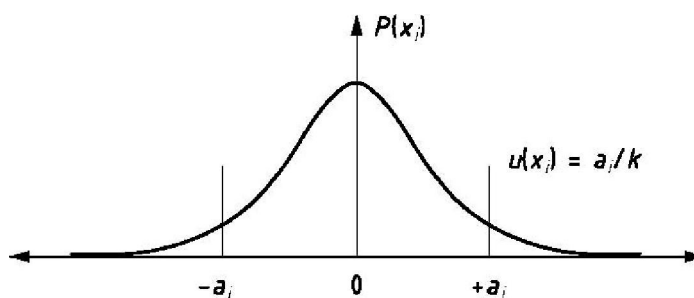
(quy định)

Phân bố xác suất

Hình B.1 đến B.5 mô tả các dạng phân bố xác suất.

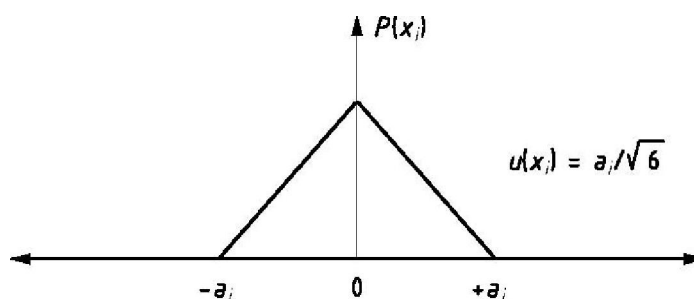


Hình B.1 — Phân bố xác suất chữ nhật

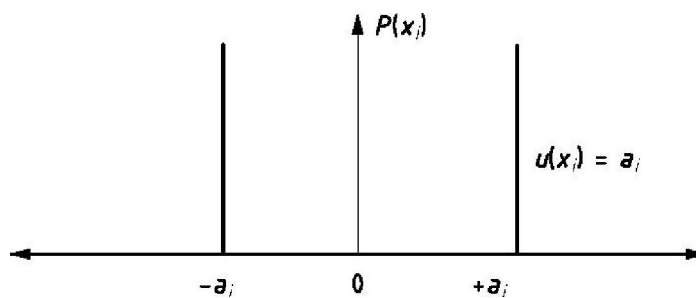


k là hệ số phù thích hợp cho dải, $\pm a_i$.

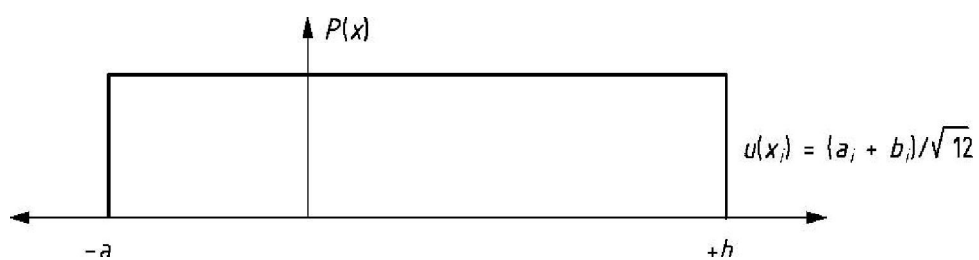
Hình B.2 — Phân bố xác suất chuẩn



Hình B.3 — Phân bố xác suất tam giác



Hình B.4 — Phân bố xác suất nhị thức



Hình B.5 — Phân bố xác suất không đối xứng

Phụ lục C

(quy định)

Hệ số phủ

Giải thích chi tiết vấn đề này, xem GUM (1995), Phụ lục G

Một cách lý tưởng, các ước lượng độ không đảm bảo đo được dựa trên cơ sở đánh giá loại B tin cậy và đánh giá loại A với số lượng đủ các quan trắc như việc sử dụng hệ số phủ $k = 2$ sẽ có nghĩa là độ không đảm bảo đo mở rộng sẽ cho mức tin cậy gần với 95 %. Tuy vậy, khi một trong các giả định này là không có hiệu lực, một hệ số phủ tốt hơn và độ không đảm bảo đo mở rộng phải được xác định theo thủ tục bốn bước sau:

a) Tính giá trị đầu ra, y , độ không đảm bảo đo chuẩn tổng hợp, $u_c(y)$ và những thành phần riêng biệt của độ không đảm bảo đo, $u_i(y) = c_i u(x_i)$.

b) Tính bậc tự do hiệu dụng, v_{eff} , của độ không đảm bảo đo chuẩn tổng hợp $u_c(y)$ bằng cách sử dụng Công thức (C.1), Công thức Welch-Satterthwaite:

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad (\text{C.1})$$

trong đó bậc tự do của các đánh giá Loại A bằng số lần các quan trắc trừ đi 1, như nêu trong Công thức (C.2):

$$v_i = n - 1 \quad (\text{C.2})$$

và của đánh giá Loại B, bằng Công thức (C.3):

$$v_i \approx \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta u_i(y)}{u_i(y)} \right]^{-2} \quad (\text{C.3})$$

Trong đó $\Delta u_i(y)/u_i(y)$ độ không đảm bảo đo tương đối của $u_i(y)$ là. Giá trị của nó được ước lượng chủ quan bằng việc đánh giá khoa học dựa vào việc tích lũy thông tin có thể sử dụng.

Tuy vậy, khi giới hạn trên và dưới được dùng trong đánh giá loại B và xác suất của đại lượng nằm ngoài những giá trị này là không đáng kể, bậc tự do là vô hạn, như cho theo công thức (C.4):

$$v_i \rightarrow \infty \quad (\text{C.4})$$

c) Để đạt được giá trị v_{eff} , xác định giá trị của phân bố t Student t từ Bảng C.1. Những giá trị được trích dẫn cho độ tin cậy khoảng 95 %. Khuyến nghị dùng giá trị 95,45 % để đảm bảo hệ số phủ, $k = 2$ là có thể dùng cho $v_{\text{eff}} \rightarrow \infty$

Bảng C.1– Phân bố t Student kiểm nghiệm hai phía, độ tin cậy 95,45 %^{a,b}

v_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16
t_{95}	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,27	2,23	2,20	2,17
v_{eff}	18	20	25	30	35	40	45	50	60	80	100	∞
t_{95}	2,51	2,13	2,11	2,09	2,07	2,06	2,06	2,05	2,04	2,03	2,02	2,00

^a Giá trị của t cho những bậc tự do khác có thể nhận được với độ chính xác đầy đủ bằng nội suy tuyến tính giữa các giá trị được cho.

^b Giá trị của t ở các mức tin cậy khác có thể nhận được từ những bảng thống kê được cho, ví dụ như, trong Dietrich^[2]

d) Tính độ không đảm bảo đo mở rộng từ Công thức (C.5)

$$U_{95} = k_{95}u_c(y) = t_{95}u_c(y) \quad (\text{C.5})$$

CHÚ THÍCH: Nếu $k = 2$ được thừa nhận cho mọi v_{eff} , nhỏ hơn ∞ , U_{95} luôn bị ước lượng thấp; đối với $v_{\text{eff}} = 10$ việc ước lượng thấp lên đến 14 %.

Phụ lục D

(tham khảo)

Khái niệm thống kê cơ bản**dùng trong việc đánh giá Loại A độ không đảm bảo đo****D.1 Trung bình của một dãy dữ liệu, \bar{x}**

Trung bình mẫu, \bar{x} , của một dãy dữ liệu được xác định là trung bình số học của tất cả các giá trị trong mẫu theo Công thức (D.1):

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n x_m \quad (\text{D.1})$$

trong đó:

x_m là giá trị thứ m của mẫu.

n là số các giá trị trong mẫu.

D.2 Độ lệch chuẩn thực nghiệm, s , của dãy dữ liệu

Trong mọi mẫu giá trị thực nghiệm, luôn có sự biến động giữa các giá trị. Nói chung, chỉ cần ước lượng sự thay đổi của toàn bộ các giá trị tạo mẫu được lựa chọn và ước lượng này là độ lệch chuẩn, s , của dữ liệu trong mẫu. Nó được xác định theo Công thức (D.2):

$$s(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{m=1}^n (x_m - \bar{x})^2} \quad (\text{D.2})$$

Cần lưu ý khi tính toán bằng máy tính cá nhân hoặc bằng tính để tính $s(x)$ vì những thiết bị này đôi khi dùng giá trị n thay cho giá trị $n-1$ trong công thức và các mẫu như là toàn bộ tổng thể. Điều này tác động vào việc ước lượng không đúng độ lệch chuẩn. Với mẫu dữ liệu lớn hơn ($n \geq 200$) thì độ sai lệch là nhỏ ($< 0,25\%$).

Trong nhiều ứng dụng thống kê, cần phải bình phương độ lệch chuẩn, giá trị này là phương và thường được biểu thị bằng ký hiệu s^2 hơn là đưa ra một ký hiệu riêng cho.

Đôi khi, để thể hiện rõ hơn sự thay đổi như là tỷ lệ của trung bình và độ lệch chuẩn có thể sử dụng hệ số biến thiên, C_v , được tính toán bởi công thức (D.3):

$$C_v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (\text{D.3})$$

CHÚ THÍCH: Hệ số biến thiên có thể được thể hiện bằng một số thuần túy, bằng phần trăm hoặc phần triệu.

Việc sử dụng C_v bị hạn chế đối với các phép có điểm "không" đúng và C_v không có nghĩa đối với phép đo với giá trị "không" bất kỳ.

D.3 Bậc tự do, hay độ lệch chuẩn của mẫu, ν

Bậc tự do, ν , là số những quan trắc độc lập trong điều kiện ràng buộc cho trước. Khi tính độ lệch chuẩn, điều kiện ràng buộc là tổng độ lệch tiến đến không (khi chúng là độ lệch so với giá trị trung bình). Như vậy, độ lệch $n - 1$ đầu tiên có thể nhận bất kỳ giá trị nào nhưng độ lệch cuối cùng phải có giá trị sao cho tổng các độ lệch bằng không. Như vậy có $n - 1$ quan trắc độc lập và do đó cũng có $n - 1$ bậc tự do.

D.4 Độ không đảm bảo đo chuẩn, của trung bình mẫu dựa trên độ lệch chuẩn, u_x

Giá trị trung bình, \bar{x} , của một mẫu dữ liệu chỉ cung cấp một ước lượng của toàn bộ tổng, khi mẫu khác được lấy thì sẽ thu được một ước lượng mới của trung bình. Rõ ràng, dữ liệu thay đổi càng lớn thì độ không đảm bảo đo của giá trị trung bình thực càng lớn và số lượng các giá trị được sử dụng càng lớn thì ước lượng của giá trị trung bình sẽ càng tốt. Thước đo độ không đảm bảo của trung bình mẫu được gọi là độ không đảm bảo chuẩn của trung bình và được xác định bằng Công thức (D.4):

$$u_x = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (D.4)$$

Về độ lệch của Công thức (D.4), xem Dietrich^[2].

D.5 Độ không đảm bảo đo chuẩn của trung bình mẫu dựa vào độ lệch chuẩn kinh nghiệm, u_x

Thường có trường hợp là mẫu dữ liệu nhỏ và có sẵn thông tin nhiều hơn về sự biến thiên lại có thể có từ kinh nghiệm trong quá khứ với một dãy dữ liệu lớn hơn. Trong trường hợp này, có thể chấp nhận độ không đảm bảo chuẩn của trung bình dựa vào độ lệch chuẩn, s_{pe} , của một dãy dữ liệu lớn hơn. Giá trị trung bình, \bar{x} , và số các giá trị đọc giá trị đọc, n , vẫn giữ lại cho dãy dữ liệu hiện hành, nhưng bậc tự do, ν , của các số liệu đó được gắn với độ lệch chuẩn, s_{pe} . Điều này được trình bày trong D.10 là phần quan trọng trong việc chọn hệ số phủ. Như vậy, u_x , được tính toán theo Công thức (D.5):

$$u_x = \frac{s_{pe}}{\sqrt{n}} \quad (D.5)$$

D.6 Độ không đảm bảo đo chuẩn của giá trị đơn dựa vào kinh nghiệm, u_{sm}

Sử dụng độ lệch chuẩn bên ngoài lấy từ dữ liệu trong quá khứ cho phép ước lượng độ không đảm bảo cho phép đo một lần; như vậy, đây là giá trị cụ thể trong những tình huống đo lưu lượng dùng cho giao nhận thông thường mà phép đo lặp lại không thể thực hiện được. Trong trường hợp này, giá trị trung bình, \bar{x} , là giá trị đo đơn lẻ và số các giá trị đọc $n = 1$; tuy vậy, bậc tự do, ν , lại được gắn với độ lệch chuẩn bên ngoài, s_p . Như vậy, u_{sm} , được tính theo Công thức (D.6):

$$u_{sm} = s_{pe} \quad (D.6)$$

So sánh Công thức (D.7) và Công thức (D.6), giá trị trung bình đạt được từ hai hay nhiều giá trị đọc khi có thể dễ dàng nhìn thấy, vì độ không đảm bảo đo chuẩn cho giá trị đo đơn là $\sqrt{2}$ lần hoặc là 41 % lớn

hơn độ không đảm bảo đo chuẩn đạt được từ giá trị trung bình của hai giá trị đọc và $\sqrt{3}$ lần hoặc 73 %, lớn hơn độ không đảm bảo đo chuẩn đạt được từ giá trị trung bình của ba giá trị đọc. Khi có thể, cần sử dụng giá trị trung bình theo nhiều giá trị đọc cần được dùng ưu tiên nhiều hơn giá trị đơn.

D.7 Độ lệch chuẩn tích lũy từ một số dữ liệu, s_{po}

Dữ liệu của các phép đo trong quá khứ thường không tạo thành một dãy dữ liệu liên tục nhưng có thể được lấy từ một số dãy thực hiện ở những thời gian khác nhau trong những điều kiện hơi khác nhau. Miễn là sự khác nhau trong các điều kiện thử không ảnh hưởng đến tính biến thiên thì dữ liệu trong những dãy dữ liệu khác nhau có thể được kết hợp lại để tính độ lệch chuẩn tích lũy theo nhiều bậc tự do hơn. Chú ý là độ lệch chuẩn tích lũy không phải là bản thân các dãy dữ liệu mà là các độ lệch chuẩn (hoặc các phương sai). Nó là sự biến thiên của các dãy dữ liệu xung quanh các giá trị trung bình của riêng chúng được kết hợp lại để cho một ước lượng tốt hơn về sự biến thiên kỹ thuật đo, và sự khác nhau giữa trung bình của các dãy dữ liệu là không quan trọng. Độ lệch chuẩn tích lũy, s_{po} , được tính theo Công thức (D.7):

$$s_{po} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{m'} v_j s_j^2}{\sum_{j=1}^{m'} v_j}} \quad (D.7)$$

Trong đó

s_j là độ lệch chuẩn của dãy dữ liệu thứ j .

v_j là bậc tự do gắn với s_j .

m' là số dãy dữ liệu được tích lũy.

Vì thế s_{po} được dẫn suất ra từ trung bình có trọng số của các phương sai, s_j^2 , của các dãy dữ liệu được tích lũy và các hệ số trọng lượng là bậc tự do, v_j , của từng dãy dữ liệu.

Khi đó độ không đảm bảo đo chuẩn của trung bình mẫu được tính toán theo Công thức (D.8):

$$u_x = \frac{s_{po}}{\sqrt{n}} \quad (D.8)$$

và độ không đảm bảo đo chuẩn của giá trị đơn, tính theo Công thức (D.9):

$$u_{sm} = s_{po} \quad (D.9)$$

D.8 Bậc tự do, gắn với độ lệch chuẩn tích lũy, v_{po}

Độ lệch chuẩn tích lũy là ước lượng tốt hơn của độ lệch chuẩn tổng thể so với bất cứ độ lệch chuẩn riêng nào vì nó có nhiều bậc tự do gắn với nó hơn. Bậc tự do tổng hợp đạt được đơn giản bằng cách cộng bậc tự do gắn với từng độ lệch chuẩn tham gia theo Công thức (D.10):

$$v_{po} = \sum_{j=1}^{m'} v_j \quad (D.10)$$

D.9 Độ không đảm bảo đo mở rộng của trung bình mẫu đo trên cơ sở độ lệch chuẩn mẫu, U_x^-

Khi độ không đảm bảo đo chuẩn của giá trị trung bình cung cấp một thước đo của độ rộng dải mà giá trị trung bình có thể nằm bên trong, thì dải đó hẹp và có một rủi ro lớn để giá trị trung bình thực tế là nằm ngoài dải. Với độ lệch chuẩn, và do đó độ không đảm bảo đo chuẩn dựa trên hai bậc tự do, có 42 % khả năng giá trị trung bình sẽ nằm ngoài dải được xác định bởi độ không đảm bảo đo chuẩn và thậm chí với 100 bậc tự do, thì có khoảng 32 % cơ hội. Do vậy, thực tế thường mở rộng để có độ tin cậy lớn hơn mà ở đó giá trị trung bình thực sẽ nằm trong dải đã được mở rộng. Độ rộng dải có thể được tính toán để cho độ tin cậy 90 %, 95 % hoặc 99 %, nhưng trong việc phân tích độ không đảm bảo đo độ tin cậy 95 % thường được chọn. Điều này đạt được bằng việc áp dụng hệ số phủ, k , cho độ không đảm bảo đo chuẩn theo công thức (D.11):

$$U_x^- = k u_x^- \quad (D.11)$$

Giá trị của hệ số phủ tùy thuộc vào bậc tự do liên quan đến độ không đảm bảo đo chuẩn, trong trường hợp độ không đảm bảo đo chuẩn dựa vào độ lệch chuẩn của mẫu dữ liệu hiện thời $\nu = n - 1$. Dải giá trị được cho trong Bảng C.1. Nói một cách chính xác, giá trị được liệt kê là tại độ tin cậy 95,45 %, độ tin cậy này được chọn lựa theo mức 95 % để cho hệ số phủ là hai khi $\nu \rightarrow \infty$.

D.10 Độ không đảm bảo đo mở rộng của trung bình mẫu trên cơ sở độ lệch chuẩn kinh nghiệm, U_x^-

Công thức tính độ không đảm bảo đo mở rộng có thể áp dụng như nhau khi độ không đảm bảo đo chuẩn đạt được từ độ lệch chuẩn dựa vào kinh nghiệm trong quá khứ, từ dãy đơn dữ liệu hoặc từ việc tích lũy một số dãy dữ liệu. Tuy vậy, trong trường hợp này, hệ số phủ phải được chọn lựa theo bậc tự do gắn với độ lệch chuẩn từ kinh nghiệm trong quá khứ.

D.11 Độ không đảm bảo đo mở rộng của giá trị đơn, U_{sm}

Công thức của độ không đảm bảo đo mở rộng còn được áp dụng trong trường hợp giá trị đơn và mặc khác hệ số phủ phải được chọn theo bậc tự do liên quan đến độ lệch chuẩn được dùng.

D.12 Khoảng dung sai cho các phép đo riêng rẽ

Với độ tin cậy đã cho, độ không đảm bảo đo mở rộng của giá trị trung bình xác định dải có thể hy vọng giá trị trung bình thực của phép đo nằm trong đó. Tuy vậy, các giá trị riêng biệt của đại lượng đo sẽ nằm trong một dải rộng hơn và thường cần thiết phải xác định dải mà tỷ lệ đã cho các giá trị sẽ nằm trong nó. Đối với độ lệch chuẩn đã biết, phân bố chuẩn xác định các giới hạn mà một phần trăm đã cho giá trị đọc sẽ nằm trong đó. Tuy vậy, khi dựa vào một mẫu giới hạn thì chính độ lệch chuẩn chịu độ không đảm bảo đo và vì thế giới hạn độ tin cậy phải được đặt trong khoảng chứa phần trăm giá trị đọc yêu cầu. Những giới hạn này được cho bằng khoảng dung sai.

Khoảng dung sai được xác định theo Công thức (D.12):

$$\bar{x} \pm k_t s \tag{D.12}$$

Trong đó:

\bar{x} là trung bình mẫu;

s là độ lệch chuẩn mẫu;

k_t được tra trong Bảng D.1.

Lưu ý là giá trị của k_t trong bảng được trình bày cho những cỡ mẫu, n , khác nhau và không biểu cho các bậc tự do gắn với độ lệch chuẩn. Giá trị trong Bảng D.1 dựa trên cơ sở giả định rằng mẫu được lấy ra từ phân bố chuẩn hoặc Gauss.

Bảng D.1- Khoảng dung sai (giá trị của k_t)^[2]

Cỡ mẫu	Độ tin cậy					
	95 %			99 %		
	Phần trăm các cá thể nằm trong khoảng dung sai			Phần trăm các cá thể nằm trong khoảng dung sai		
	90 %	95 %	99 %	90 %	95 %	99 %
3	8,38	9,92	12,86	18,93	22,40	29,06
4	5,37	6,37	8,30	9,40	11,15	14,53
5	4,28	5,08	6,63	6,61	7,85	10,26
6	3,71	4,41	5,78	5,34	6,35	8,30
7	3,31	4,01	5,25	4,61	5,49	7,19
8	3,14	3,73	4,89	4,15	4,94	6,47
9	2,97	3,53	4,63	3,82	4,55	5,97
10	2,84	3,38	4,43	3,58	4,27	5,59
12	2,66	3,16	4,15	3,25	3,87	5,08
14	2,53	3,01	3,96	3,03	3,61	4,74
16	2,44	2,90	3,81	2,87	3,42	4,49
18	2,37	2,82	3,70	2,75	3,28	4,31
20	2,31	2,75	3,62	2,66	3,17	4,16
30	2,14	2,55	3,35	2,39	2,84	3,73
40	2,05	2,45	3,21	2,25	2,68	3,52
50	2,00	2,38	3,13	2,16	2,58	3,39

D.13 Phát hiện giá trị bất thường

Đôi khi, khi một dãy phép đo được thực hiện, xuất hiện một giá trị nhỏ hơn hoặc lớn hơn tất cả những giá trị khác một cách đáng kể và khi có nhu cầu loại bỏ những giá trị bất thường xem là giá trị sai. Có thể có nguyên nhân hiển nhiên cho giá trị bất thường, nhưng thường những nguyên nhân này sẽ không rõ ràng và chính chuyên viên đo lường sẽ phải quyết định giá trị đó sai hay đơn giản là một cực trị có cùng phân bố như các giá trị khác.

Giá trị cực trị sẽ làm méo cả giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của dãy dữ liệu và những giá trị này có thể đại diện nhiều hơn cho sự vận hành bình thường nếu các giá trị bất thường loại bỏ ra khi phân tích. Tuy nhiên việc loại bỏ phải được thực hiện cẩn thận vì luôn rủi ro loại bỏ nhầm dữ liệu có giá trị.

Nhiều phép thử thống kê được phát triển để hỗ trợ trong quyết định về mức ý nghĩa về giá trị bất thường. Một số thử nghiệm cho giá trị bất thường đơn, một số khác cho nhiều giá trị bất thường hoặc ở cùng cuối của phạm vi hoặc ở phần cuối ngược lại của dải. Một trong những phương pháp đó là phương pháp Grubb, nó thực hiện việc so sánh khoảng cách giữa toàn bộ dữ liệu giá trị bất thường và giá trị trung bình với độ lệch chuẩn của dãy.

Xem xét một dãy dữ liệu (x_1, x_2, \dots, x_n) với giá trị trung bình \bar{x} , độ lệch chuẩn, s , và giá trị đọc, x_m , cần tìm giá trị bất thường. Thống kê thử nghiệm Grubb, Z_n , được xác định theo Công thức (D.13):

$$Z_n = \frac{|x_m - \bar{x}|}{s} \quad (D.13)$$

Sau đó Z_n được so sánh với giá trị cho trong D.2 ở mức tin cậy và số lượng mẫu thích hợp. Nếu Z_n vượt quá giá trị được cho trong bảng thì phép đo, x_m , có thể xem là giá trị bất thường với độ tin cậy đã công bố.

Mặc dù thử nghiệm Grubb có thể được tự động hóa trong phạm vi một số hệ thống chọn lựa dữ liệu để đánh dấu giá trị bất, việc loại bỏ dữ liệu vẫn yêu cầu một sự đánh giá và sẽ không hoàn toàn dựa kết quả thống kê.

Bảng D.2 – Phương pháp kiểm tra giá trị ngoài giới hạn theo phương pháp Grubb trên cơ sở giá trị trung bình và độ lệch chuẩn

Số lần quan trắc	Độ tin cậy	
	95 %	99 %
4	1,48	1,50
5	1,71	1,76
6	1,89	1,97
7	2,02	2,14
8	2,13	2,27
9	2,21	2,39
10	2,29	2,48
12	2,41	2,64
14	2,51	2,76
16	2,59	2,85
18	2,65	2,93
20	2,71	3,00
30	2,91	3,24
40	3,04	3,38
50	3,13	3,48
100	3,38	3,75

D.14 Ví dụ**D.14.1 Giá trị trung bình, phương sai, độ lệch chuẩn, bậc tự do và hệ số biến động****D.14.1.1 Tổng quát**

Toluen được dùng để làm nguyên liệu cấp cho nhà máy chế biến hoá chất và lưu lượng được đo bằng turbin kế. Để giảm độ không đảm bảo đo Loại A trong phép đo lưu lượng, mỗi giá trị đọc được dùng cho mục đích điều khiển nhận được từ năm số đọc riêng biệt. Một dãy điển hình các giá trị được cho trong Bảng D.3 Tính giá trị trung bình, độ lệch chuẩn và hệ số biến động.

Bảng D.3 – Dãy điển hình các giá trị đọc lưu lượng

Số lần đo	1	2	3	4	5
Lưu lượng, l/s	122,7	123,2	122,3	122,8	123,0

D.14.1.2 Giá trị trung bình

Giá trị trung bình được thể hiện theo lít trên giây được tính toán như sau:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n x_m$$

$$= (122,7 + 123,2 + 122,3 + 122,8 + 123,0) / 5$$

$$= 122,8$$

D.14.1.3 Phương sai

Phương sai, thể hiện theo đại lượng lít trên giây bình phương, được tính như sau:

$$s^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_{m=1}^n (x_m - \bar{x})^2$$

$$= \frac{[(122,7 - 122,8)^2 + \dots + (123,0 - 122,8)^2]}{(5-1)}$$

$$= 0,1150$$

D.14.1.4 Độ lệch chuẩn

Độ lệch chuẩn, được thể hiện theo lít trên giây, được tính toán như sau:

$$s = \sqrt{s^2}$$

$$= \sqrt{0,1150}$$

$$= 0,339$$

D.14.1.5 Bậc tự do

Bậc tự do được tính toán như sau:

$$v = n - 1$$

$$= 5 - 1$$

$$= 4$$

D.14.1.6 Hệ số biến động

Hệ số biến động được tính như sau:

$$\begin{aligned} C_V &= \frac{s}{x} \\ &= 0,339/122,8 \\ &= 0,00276 \end{aligned}$$

D.14.2 Độ không đảm bảo đo chuẩn và mở rộng của giá trị trung bình sử dụng độ lệch chuẩn mẫu**D.14.2.1 Tổng quát**

Theo dữ liệu trong ví dụ D.14.1, tính độ không đảm bảo đo chuẩn của giá trị trung bình và độ không đảm bảo đo mở rộng tại độ tin cậy 95 %.

D.14.2.2 Độ không đảm bảo đo chuẩn của giá trị trung bình

Độ không đảm bảo đo chuẩn của giá trị trung bình, tính bằng lít trên giây (l/s), được tính toán như sau:

$$\begin{aligned} u_x &= \frac{s}{\sqrt{n}} \\ &= \frac{0,339}{\sqrt{5}} \\ &= 0,152 \end{aligned}$$

D.14.2.3 Độ không đảm bảo đo mở rộng của giá trị trung bình tại độ tin cậy 95 %

Với bốn bậc tự do, Bảng E.1 đưa ra hệ số phủ, k , là 2,87, như vậy, độ không đảm bảo đo mở rộng tính bằng đơn vị lít trên giây (l/s), được tính toán như sau:

$$\begin{aligned} U_x &= k u_x \\ &= 2,87 \times 0,152 \\ &= 0,436 \end{aligned}$$

D.14.3 Độ không đảm bảo đo chuẩn và mở rộng của giá trị đơn lẻ**D.14.3.1 Tổng quát**

Nếu điều khiển dòng chảy trong ví dụ D.14.1 theo giá trị đọc đơn của lưu lượng, tính độ không đảm bảo đo chuẩn và độ không đảm bảo mở rộng tại độ tin cậy 95 %.

Dữ liệu trong ví dụ D.14.1 cung cấp những thông tin cần thiết về độ biến động của lưu lượng đang đề cập và độ lệch chuẩn có được từ dữ liệu đó có thể được dùng như độ lệch chuẩn bên ngoài để tính toán độ không đảm bảo đo yêu cầu cho giá trị đọc đơn.

D.14.3.2 Độ không đảm bảo đo chuẩn

Độ không đảm bảo đo chuẩn, tính bằng lít trên giây được tính như sau:

$$U_{sm} = S_{ex} = 0,339$$

D.14.3.3 Độ không đảm bảo đo mở rộng

Vì độ lệch chuẩn bên ngoài là cơ sở để có được độ không đảm bảo đo chuẩn đã nhận được từ dãy có năm điểm dữ liệu nên có bốn bậc tự do gắn với nó và giá trị *k* vẫn bằng 2,87 (từ Bảng C.1). Như vậy, độ không đảm bảo đo mở rộng được tính như sau:

$$U_{sm} = kU_{sm} = 2,87 \times 0,339 = 0,973$$

Giá trị này lớn hơn rất nhiều so với giá trị độ không đảm bảo của trung bình năm giá trị đọc và điều này giải thích kết quả của việc thực hiện các phép đo đơn.

D.14.4 Độ lệch chuẩn tích lũy từ một số dãy dữ liệu

D.14.4.1 Quy định chung

Trong nỗ lực để có ước lượng tốt hơn của độ biến động về lưu lượng do độ không đảm bảo đo Loại A, kỹ sư nhà máy tham khảo các báo cáo trước đây về lưu lượng và xác định sáu dãy dữ liệu có được tại các lưu lượng tương tự. Những lưu lượng này được chỉ ra trong Bảng D.4, cùng với giá trị trung bình của mỗi dãy dữ liệu, độ lệch chuẩn của mỗi dãy dữ liệu đối với giá trị trung bình của chính nó và bậc tự do kết hợp với mỗi độ lệch chuẩn. Tiến hành tính toán độ lệch chuẩn tích lũy và bậc tự do kết hợp từ tất cả các dữ liệu.

Bảng D.4 – Dữ liệu lưu lượng cho ví dụ trong D.14.4

Lưu lượng ^a trên ngày trên dãy dữ liệu							
Dãy	Tham số thống kê	Ngày					
		1	2	3	4	5	6
1	—	120,2	123,0	124,3	127,3	118,3	122,7
2	—	120,8	122,6	124,9	126,7	118,5	123,1
3	—	121,0	122,7	124,9	127,2	118,2	123,0
4	—	121,1	122,9	125,1	126,5	118,6	122,7
5	—	120,4	122,4	124,5	—	118,8	122,2
6	—	—	—	—	—	118,3	122,4
7	—	—	—	—	—	119,1	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	<i>x</i> ^a	120,70	122,72	124,74	126,93	118,54	122,68
—	<i>s</i> ^a	0,387	0,239	0,329	0,386	0,321	0,343
—	<i>v</i>	4	4	4	3	6	5

^a Lưu lượng cho theo lít trên giây

D.14.4.2 Độ lệch chuẩn tích lũy

Độ lệch chuẩn tích lũy, tính bằng lít trên giây, được tính như sau:

$$\begin{aligned}
 S_{po} &= \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{m'} v_j S_j^2}{\sum_{j=1}^{m'} v_j}} \\
 &= \sqrt{\frac{(4 \times 0,387^2 + 4 \times 0,239^2 + \dots + 6 \times 0,321^2 + 5 \times 0,343^2)}{4 + 4 + 4 + 3 + 6 + 5}} \\
 &= 0,335
 \end{aligned}$$

D.14.4.3 Bậc tự do tích lũy

Bậc tự do tích lũy được tính như sau:

$$\begin{aligned}
 v_{po} &= \sum_{j=1}^{m'} v_j \\
 &= 4 + 4 + 4 + 3 + 6 + 5 \\
 &= 26
 \end{aligned}$$

Mặc dù trong ví dụ này việc tích lũy dữ liệu cũ có tác động không đáng kể lên độ lệch chuẩn, nhưng nó làm tăng rất nhiều bậc tự do gắn với độ lệch chuẩn tích lũy. Những ích lợi này được chỉ ra trong ví dụ ở D.14.5.

D.14.5 Độ không đảm bảo đo mở rộng của trung bình mẫu trên cơ sở độ lệch chuẩn kinh nghiệm**D.14.5.1 Quy định chung**

Sử dụng dữ liệu tích lũy trong ví dụ D.14.4, tính toán lại độ không đảm bảo đo mở rộng và độ không đảm bảo đo chuẩn của giá trị trung bình trên cơ sở năm giá trị đọc.

D.14.5.2 Độ không đảm bảo đo chuẩn

Độ lệch chuẩn được dùng để tính độ không đảm bảo đo chuẩn bây giờ là giá trị tích lũy nhưng vì mẫu để đưa ra giá trị trung bình vẫn được giới hạn là năm giá trị nên số chia trong biểu thức độ không đảm bảo đo chuẩn vẫn là $\sqrt{5}$, công thức trở thành như sau:

$$\begin{aligned}
 u_x &= \frac{S_{pe}}{\sqrt{n}} \\
 &= \frac{S_{po}}{\sqrt{n}} \\
 &= \frac{0,335}{\sqrt{5}} \\
 &= 0,150
 \end{aligned}$$

Vì độ lệch chuẩn tích lũy rất gần với giá trị mẫu đầu tiên, nên độ không đảm bảo đo chuẩn, trong ví dụ này, không bị ảnh hưởng lớn bởi quá trình tích lũy.

D.14.5.3 Độ không đảm bảo đo mở rộng

Lấy hệ số phủ từ Bảng C.1 để tính độ không đảm bảo đo mở rộng, điều quan trọng cần nhớ là bậc tự do gắn với độ không đảm bảo đo chuẩn giờ bấy giờ chính là bậc tự do gắn với độ lệch chuẩn tích lũy. Do vậy, hệ số phủ đạt được ở 26 bậc tự do, $k = 2,11$ và độ không đảm bảo đo, tính bằng lít trên giây được tính như sau:

$$U_{\bar{x}} = k u_{\bar{x}} = 2,11 \times 0,150 = 0,317$$

Giá trị này nhỏ hơn đáng kể so với giá trị 0,436 nhận được khi chỉ sử dụng dữ liệu của đầu ban đầu trong ví dụ D.14.2 và minh họa giá trị của dữ liệu tích lũy cũ để đạt được một ước lượng biến thiên tốt hơn sự cải tiến trong trường hợp này là bậc tự do gắn với độ lệch chuẩn tích lũy đã tăng lên.

D.14.6 Khoảng dung sai cho những giá trị riêng lẻ

Những chai rượu Whisky được ghi nhãn với dung lượng tối thiểu là 700 ml. Thừa nhận là có sự thay đổi trong quá trình đổ rượu vào, giám đốc nhà máy đóng chai đã phải cài đặt dung tích làm đầy trung bình trên 700 ml để giảm đến mức tối thiểu rủi ro có những chai đóng thiếu. Phép đo dung lượng của 10 chai được lựa chọn ngẫu nhiên cho độ lệch chuẩn là 4 ml. Giám đốc nhà máy phải đặt giá trị thế nào để việc đổ đầy trung bình ở độ tin cậy 95 % thì 99,5 % số chai sẽ đạt yêu cầu tối thiểu?

Vì có thể giả định là đối xứng, 99,5 % số lượng chai trên giá trị tối thiểu cũng ngụ ý có 0,5 % số chai sẽ ở dưới giá trị tối thiểu, 99 % bên trong khoảng dung sai và 0,5 % trên đường biên trên của khoảng dung sai. Việc chọn lựa giá trị trong Bảng D.1 để có độ tin cậy 95 % mà 99 % các cá thể là trong khoảng cho $k_t = 4,43$

Do đó khoảng dung sai là $\pm 4,43 \times 4ml = \pm 17,72ml$

Do vậy với đường biên dưới của khoảng là 700 ml, giá trị trung bình cần được cài đặt là 717,72 ml

Giám đốc nhà máy thừa nhận rằng giá trị trung bình này đại diện cho hầu hết mọi chai rượu Whisky và ông ta thận trọng hơn với những thiếu hụt này. Ông ta quyết định chấp nhận giá trị trung bình là 705 ml và cùng lúc ông ta muốn cải tiến độ tin cậy đến 99 % mà tại đó 99,5 % số chai sẽ tuân theo yêu cầu tối thiểu. Để cố gắng giảm độ không đảm bảo đo trong quá trình đóng rót, ông ta phải tìm kiếm độ lệch chuẩn là bao nhiêu trên số mẫu là 30 chai?

Với độ tin cậy 99 % mà tại đó 99 % số chai nằm trong dải (0,5 % thấp hơn giới hạn dưới) và cỡ mẫu là 30, Bảng D.1 cho $k_t = 3,73$. Cho khoảng dung sai là ± 5 ml, độ lệch chuẩn mẫu cần được giảm đến 5 ml chia cho 3,73 hoặc 1,34 ml.

D.14.7 Loại bỏ giá trị bất thường

Dòng nước chảy đến thiết bị làm lạnh được đo bằng đồng hồ Venturi. Việc ước lượng lượng tiêu thụ trung bình mỗi ngày được yêu cầu và dữ liệu dưới đây được chọn trong khoảng thời gian 20 ngày.

Bảng D.5 – Dữ liệu thể tích cho ví dụ D.14.7

Ngày	1	2	3	4	5
Thể tích, m³	7,80	7,66	7,87	8,02	8,01

Ngày	6	7	8	9	10
Thể tích, m³	8,08	7,18	7,81	7,99	7,69

Ngày	11	12	13	14	15
Thể tích, m³	7,74	7,60	7,58	7,70	7,73

Ngày	16	17	18	19	20
Thể tích, m³	7,54	7,76	7,78	7,86	7,79

Việc tính toán giá trị trung bình và độ lệch chuẩn sử dụng Công thức (D.1) và (D.2) cho giá trị trung bình 7,76 m³ và độ lệch chuẩn 0,202 m³. Vì giá trị trung bình trên cơ sở 20 số đọc, độ không đảm bảo đo chuẩn, của giá trị trung bình biểu thị bằng mét khối, được cho bởi:

$$u_x = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0,202}{\sqrt{20}} = 0,045$$

Hệ số phủ đối với 20 giá trị và do đó bậc tự do là 19 từ Bảng C.1 là 2,14 (bảng nội suy) và độ không đảm bảo mở rộng, tính bằng mét khối, là:

$$U_x = ku_x = 2,14 \cdot 0,045 = 0,096$$

Tuy vậy, giá trị 7,18 thu được ở ngày thứ bảy thấp hơn đáng kể so với những giá trị khác và được xử như một giá trị bất thường bằng cách sử dụng phép thử Grubb.

$$Z_n = \frac{|x_m - \bar{x}|}{s} = \frac{|7,18 - 7,76|}{0,202} = 2,87$$

Vì giá trị Z_n vượt quá giá trị lập bảng (Bảng D.2) cho 20 quan trắc tại độ tin cậy 95 %, giá trị 7,18 có thể được coi như một giá trị bất thường với độ tin cậy 95 %. Tuy vậy, Z_n , không vượt quá giá trị lập bảng kê tại độ tin cậy 99 % và giá trị 7,18 không thể được đánh giá là giá trị bất thường tại độ tin cậy cao hơn. Kiểm tra hồ sơ của nhà máy phát hiện có vấn đề về sự tập trung nguyên liệu cấp cho nhà máy trong ngày thứ bảy và điều này có thể ảnh hưởng đến những yêu cầu làm lạnh. Do vậy, quyết định là giá trị thấp có thể bị loại bỏ.

Khi loại bỏ giá trị bất thường, giá trị trung bình và độ lệch chuẩn có thể được tính lại tương ứng là 7,79 m³ và 0,153 m³. Hiện tại có 19 lần quan trắc, độ không đảm bảo đo chuẩn của giá trị trung bình được biểu thị bằng mét khối là:

$$u_x = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0,153}{\sqrt{19}} = 0,035$$

Hệ số phủ cho 19 lần quan trắc và 18 bậc tự do từ Bảng C.1 là 2,15 và do đó độ không đảm bảo đo mở rộng của giá trị trung bình tại độ tin cậy 95 %, tính bằng mét khối là:

$$U_x = ku_x = 2,15 \times 0,035 = 0,075$$

Phụ lục E

(tham khảo)

Các nguồn độ không đảm bảo đo

E.1 Các loại nguồn độ không đảm bảo đo

Các nguồn đóng góp vào độ không đảm bảo đo trong một quá trình đo có thể được chia thành những loại sau:

- a) độ không đảm bảo hiệu chuẩn;
- b) độ không đảm bảo thu thập dữ liệu;
- c) độ không đảm bảo xử lý dữ liệu;
- d) độ không đảm bảo phương pháp;
- e) các loại khác.

Thông thường việc phân loại nguồn độ không đảm bảo đo là không cần thiết cho việc phân tích độ không đảm bảo đo chính xác.

E.2 Độ không đảm bảo đo trong hiệu chuẩn

Từng thiết bị đo có thể tạo ra các độ không đảm bảo đo. Mục đích chính của việc hiệu chuẩn là để giảm độ không đảm bảo đo đến mức có thể chấp nhận được. Quá trình hiệu chuẩn hoàn thành mục tiêu đó bằng cách thay độ không đảm bảo đo lớn của thiết bị chưa được hiệu chuẩn bằng sự kết hợp nhỏ hơn giữa độ không đảm bảo đo của thiết bị điều khiển chuẩn và sự so sánh giữa nó và thiết bị đo.

Việc hiệu chuẩn còn được dùng để cung cấp việc liên kết tới các chuẩn quy chiếu đã biết và/hoặc những hằng số vật lý. Tại một vài quốc gia, có sơ đồ thứ bậc phòng thí nghiệm liên quan đến hiệu chuẩn, đến phòng thí nghiệm chuẩn quốc gia ở đỉnh của sơ đồ thứ bậc cung cấp mốc quy chiếu tốt nhất cho mọi phòng thí nghiệm chuẩn. Mỗi bậc trong sơ đồ hiệu chuẩn được liên kết tới bậc trên vì vậy nó có độ không đảm bảo của phòng thí nghiệm cao hơn như là độ không đảm bảo hiệu chuẩn của nó, độ không đảm bảo đó được thêm vào độ không đảm bảo của thiết bị và của việc sử dụng riêng của nó. Bằng cách này mỗi bậc đưa độ không đảm bảo vào quá trình đo và do đó nó là quan trọng để nhập vào chuỗi hiệu chuẩn tại đúng bậc khi bậc cụ thể của độ không đảm bảo đo được tìm ra. Như vậy, nếu yêu cầu một độ không đảm bảo tổng thể là 0,5 % và độ không đảm bảo đo của thiết bị đóng góp 0,4 %, thì sơ đồ hiệu chuẩn cần được nhập tại một mức mà tại đó độ không đảm bảo đo hiệu chuẩn là 0,3 %, để mang lại một độ không đảm bảo đo kết hợp, tính bằng phần trăm, là $\sqrt{0,4^2 + 0,3^2}$, hoặc 0,5 % giá trị yêu cầu.

E.3 Độ không đảm bảo đo thu thập dữ liệu

Độ không đảm bảo đo trong hệ thống thu thập dữ liệu có thể sinh ra từ bộ biến đổi tín hiệu, từ các cảm biến hay thiết bị thu khác, v.v, Phương pháp tốt nhất để giảm thiểu những tác động của nhiều nguồn độ không đảm bảo đo này là thực hiện hiệu chuẩn toàn hệ thống. Bằng việc so sánh giá trị đầu vào đã biết với kết quả được đo của chúng, có thể nhận được ước lượng độ không đảm bảo đo thu thập dữ liệu. Tuy vậy, không thể luôn luôn làm điều này. Trong những trường hợp này cần phải đánh giá mỗi thành phần của độ không đảm bảo đo và tổng hợp chúng lại để dự đoán trước độ không đảm bảo đo tổng thể.

E.4 Độ không đảm bảo đo xử lý dữ liệu

Các nguồn độ không đảm bảo đo điển hình trong loại này xuất phát từ sự làm khớp đường cong và độ phân giải tính toán; độ phân giải tính toán; giá trị sau thường là không đáng kể. Sự làm khớp đường cong có thể được dùng để thừa nhận sự không tuyến tính, ví dụ trong hệ số đồng hồ. Tuy nhiên, khi công thức được hình thành từ việc phân tích hồi qui dữ liệu hiệu chuẩn biểu thị điểm thích hợp nhất của dữ liệu đó, sự phân bố của đường cong chỉ ra rằng với nhiều dữ liệu, công thức ít khác nhau sẽ cho phương pháp **giống nhau như giá trị trung bình của một dãy dữ liệu sẽ thay đổi khi nhiều giá trị đạt được. Như vậy, mỗi hệ số trong công thức hồi qui sẽ có một độ không đảm bảo đo liên kết với nó chỉ khi giá trị trung bình của dãy dữ liệu thực hiện. Chi tiết cho phương pháp đánh giá độ không đảm bảo đo có kết quả từ đường thẳng thích hợp hoặc đường cong dữ liệu. Xem ISO/ TR 7066-1^[3] và ISO 7066-2^[4], tương ứng.**

Các đặc trưng tính năng của đồng hồ cũng như độ không lặp lại được bao gồm cả độ không đảm bảo làm khớp đường cong vì đường cong bắt buộc phải dựa vào nhiều giá trị đọc. Thêm vào đó, việc chuẩn bị cẩn thận thí nghiệm hiệu chuẩn cho phép bao gồm các nguồn độ không đảm bảo như cả hiện tượng trễ.

E.5 Độ không bảo đảm do phương pháp

Độ không đảm bảo đo do phương pháp được xác định là các nguồn độ không đảm bảo đo thêm vào xuất phát từ kỹ thuật hay phương pháp vốn có trong quá trình đo. Các nguồn độ không đảm bảo đo này tác động đáng kể vào độ không đảm bảo đo của kết quả cuối cùng và trong hệ thống đo hiện đại nó có thể tác động mạnh hơn vào độ không đảm bảo đo có được trong việc hiệu chuẩn, thu thập dữ liệu và xử lý dữ liệu. Một vài ví dụ phổ biến chung như sau:

- a) Độ không đảm bảo đo của các giả thuyết hoặc hằng số trong các phương pháp tính toán. Ví dụ, hằng số π có thể là 3,14 hoặc 3,141 và gia tốc trọng trường, g , có thể là 9,81 m/s² hoặc có thể được tính toán cho từng vị trí riêng biệt sử dụng công thức của Hiệp hội đo đạc và vật lý thế giới.
- b) Độ không đảm bảo đo do tác động của nhiễu xâm nhập gây ra bởi thiết bị điều khiển được lắp đặt. Ví dụ ống pilot sẽ gây cản trở và tăng vận tốc dòng được đo.

TCVN 8114: 2009

- c) Độ không đảm bảo đo của không gian hoặc mặt nghiêng trong sự tương tác từ những phép đo điểm rời rạc của đường bao vận tốc đến đến lưu lượng trung bình vị trí đo.
- d) Môi trường tác động vào bộ chuyển đổi đo, như là độ dẫn nhiệt, đối lưu và bức xạ. Sự chuyển đổi nhiệt tác động lên đầu dò nhiệt độ đặc biệt quan trọng khi đo dòng quá nóng hoặc quá lạnh.
- e) Độ không đảm bảo đo do tính không ổn định, độ không lặp lại và tính trễ của quá trình đo.
- f) Độ không đảm bảo đo do độ trôi của thiết bị điều khiển giữa những lần hiệu chuẩn liên tiếp.
- g) Nhiễu điện đối với thiết bị điện tử như bởi từ trường, điện trường và những cộng hưởng nguồn lưới.
- h) Sự khác nhau giữa điều kiện hiệu chuẩn và điều kiện sử dụng. Những đồng hồ được hiệu chuẩn tại nhiệt độ phòng thí nghiệm có thể có độ không đảm bảo đo tăng khi được sử dụng trong môi trường tại dải rộng của nhiệt độ xung quanh hoặc khi được dùng trong nhà máy xử lý với dòng chất lỏng có nhiệt độ quá cao hay quá thấp. Cấu hình hệ thống đường ống thượng nguồn có thể còn tác động mạnh đến một số loại đồng hồ đo.

Phụ lục F

(tham khảo)

Các biến đầu vào có tương quan

Khi liệt kê tất cả các nguồn của độ không đảm bảo từ nhiều loại khác nhau, các nguồn cần được định ở nơi có thể để độ không đảm bảo đo trong các nguồn khác nhau là độc lập đối với từng nguồn khác. Và khi đó, sự biến thiên đầu vào và độ không đảm bảo kèm theo của chúng được cho là không tương quan với nhau. Ở đó, nơi mà sự biến thiên đầu vào hoặc độ không đảm bảo đo của các biến đó là không độc lập với những biến khác thì chúng được gọi là có tương quan với nhau. Sự tương quan đó có thể hoặc là khẳng định hoặc là phủ định và có thể là 100 % hoặc tương quan bán phần.

Sự tương quan sẽ sinh ra khi một thiết bị điều khiển giống nhau được dùng để thực hiện một vài phép đo hoặc thiết bị được hiệu chuẩn dựa vào mối quy chiếu giống nhau. Thực tế sau thường là trong phòng thí nghiệm đo lưu lượng nơi mà một vài đồng hồ đo lưu lượng được hiệu chuẩn so với cùng mốc quy chiếu khi được mắc theo dãy và rồi được sử dụng song song để đo lưu lượng lớn hơn. Sự tương quan cũng xuất hiện khi ảnh hưởng bên ngoài như áp suất, nhiệt độ hoặc độ ẩm tác động lên một số thiết bị trong hệ thống đo.

Tương quan dẫn đến việc tăng độ không đảm bảo đo tổng thể, vì không thể giả định rằng độ không đảm bảo đo sẽ được phân bố liên tục trong dải hợp lý của chúng và như thế tìm thấy giá trị phù hợp nhất theo kỹ thuật căn bậc hai của tổng bình phương. Để thay thế, giá trị kết hợp phải phản ánh được thực tế là độ không đảm bảo đo được liên kết và như thế sẽ hoạt động theo cùng một hướng trên bất kỳ một phép đo nào. Ví dụ, tương quan nhiệt độ ảnh hưởng lên đường kính đường ống và lỗ đo của việc lắp đặt lỗ tiết lưu sẽ tác động đến đều nhau lên cả đường kính và lỗ đo.

Tương quan phủ định xảy ra ví dụ như khi thiết bị điều khiển giống nhau được dùng để thực hiện hai phép đo và sự khác nhau hoặc tỷ lệ của những phép đo này là đại lượng đo cuối cùng. Trong trường hợp trước, việc bù điểm không trong cả hai điểm đo sẽ không có tác động trên kết quả cuối cùng; còn trong trường hợp sau, một sai số trong độ dốc của đường hiệu chuẩn sẽ không ảnh hưởng đến tỉ lệ. Do vậy, tương quan phủ định có thể làm giảm độ không đảm bảo đo.

Việc chỉnh lý độ không đảm bảo đo tương quan có thể rất khó khăn, đặc biệt là tương quan một phần; mô tả chi tiết trong GUM(1995), 5.2. Phương pháp mô tả trong GUM là phức hợp toán học và trong hầu hết các ứng dụng thực tiễn, kỹ thuật đơn giản nhất mô tả dưới đây được nêu thực hiện để đánh giá tầm quan trọng của những thành phần tương quan để xác định việc có cần kết hợp kỹ thuật GUM yêu cầu hay không.

Phương pháp tốt nhất đối với việc phân tích là đánh giá lại mối liên quan toán học để rút ra những mối liên hệ. Ví dụ, như đã được đề cập, khi sự hiệu chỉnh được thực hiện do sự giãn nở nhiệt của đường ống và lỗ đo trong việc lắp đặt tấm tiết lưu, độ không đảm bảo đo của việc hiệu chỉnh sẽ có tương quan khẳng định qua độ không đảm bảo đo của nhiệt độ và của hệ số giãn nở nhiệt nếu những các vật liệu

là giống nhau. Bằng cách xác định lại mối liên hệ toán học có trong công thức của đường kính ống và lỗ đo theo kích thước tại nhiệt độ quy chiếu, nhiệt độ vận hành và hệ số giãn nở nhiệt, các biến có tương quan được đưa vào phân tích như các biến độc lập và đóng góp của chúng vào độ không đảm bảo được tính toán đầy đủ thông qua việc phân tích hệ số nhạy tại Điều 8, Phụ lục G, ví dụ 3, trình bày qui trình cho tấm tiết lưu. Tương quan phủ định có thể được chỉ ra bằng việc đánh giá lại đại lượng đo để loại bỏ những biến tương quan; Phụ lục G, ví dụ 2, là qui trình cho tỉ số lưu lượng.

Cách tiếp cận khác để đánh giá độ không đảm bảo đo tương quan khẳng định là giả thiết rằng các tương quan là 100% như nó có thể được chỉ ra, trong trường hợp này [xem ví dụ trong GUM (1995), 5,2], độ không đảm bảo đo tổng hợp, u_c , được tính bằng Công thức (F.1):

$$u_c = c_1 u(x_1) + c_2 u(x_2) + \dots + c_N u(x_N) \quad (F.1)$$

hoặc thể hiện mối liên hệ đó trong công thức (F.2)

$$u_c^* = c_1^* u^*(x_1) + c_2^* u^*(x_2) + \dots + c_N^* u^*(x_N) \quad (F.2)$$

Khi đó, kỹ thuật phân tích là chia các nguồn độ không đảm bảo đo thành loại tương quan và không tương quan và thực hiện việc phân tích song song thêm vào sự đóng góp tuyến tính cho các nguồn tương quan và bằng công thức căn bậc hai của tổng bình phương cho loại không tương quan. Ở bước cuối cùng, độ không đảm bảo đo có tương quan và không tương quan được đưa vào bằng công thức căn bậc hai của tổng bình phương để đạt được độ không đảm bảo đo tổng thể. Cách tiếp cận này sẽ ước lượng cao tác động của bất kỳ thành phần nào của độ không đảm bảo đo chỉ tương quan một phần, như vậy là trung thành với nguyên tắc thiên về khía cạnh bi quan trong đánh giá độ không đảm bảo.

Liên quan đến các tương quan phủ định, lưu ý là 100% kết quả tương quan phủ định trong nguồn được loại trừ khỏi phân tích và không tham gia vào độ không đảm bảo đo tổng quát. Do đó nguyên tắc thiên về khía cạnh bi quan yêu cầu các tương quan phủ định một phần được xử lý như không tương quan và được giữ lại trong quá trình phân tích.

Khi cách tiếp cận đánh giá lại nghiêm ngặt mối quan hệ toán học không thể được chấp nhận, tốt nhất là so sánh sự đóng góp của các nguồn tương quan tiềm tàng với sự đóng góp của các nguồn không tương quan để quyết định xem những ảnh hưởng tương quan có xứng đáng với một sự phân tích chi tiết hơn hay không.

Phụ lục G

(tham khảo)

Các ví dụ**G.1 Ví dụ 1 – Vòi phun dòng tới hạn được dùng để đo lưu lượng khối lượng của không khí trong các thiết bị hiệu chuẩn****G.1.1 Mô hình toán học**

Lưu lượng khối lượng được tính bằng Công thức (G.1):

$$q_{ma} = A_t C \varphi_{cf} p_0 \sqrt{\frac{1}{RT_0}} \quad (G.1)$$

trong đó:

- q_{ma} là lưu lượng khối lượng;
- A_t là diện tích cổ;
- C là hệ số xả;
- φ_{cf} là hàm lưu lượng tới hạn;
- p_0 là áp suất phía trước đồng hồ;
- R là hằng số khí riêng;
- T_0 là nhiệt độ tuyệt đối phía trước đồng hồ.

Khi vòi phun dòng được hiệu chuẩn trong không khí so với chuẩn quy chiếu, Công thức này rút gọn thành công thức (G.2):

$$q_{ma} = C_c p_0 \sqrt{\frac{1}{T_0}} \quad (G.2)$$

trong đó C_c là hệ số hiệu chuẩn.**G.1.2 Phương sai phụ thuộc**

Áp dụng Công thức (19) đến (G.2) suy ra Công thức (G.3):

$$u_c^2(q_{ma}) = c_{C_c}^2 u^2(C_c) + c_{p_0}^2 u^2(p_0) + c_{T_0}^2 u^2(T_0) \quad (G.3)$$

Hệ số nhạy trong Công thức (G.4) có thể nhận được bởi bằng phép lấy đạo hàm Công thức (G.2):

$$c_{C_c} = p_0 \sqrt{\frac{1}{T_0}}, \quad c_{p_0} = C_c \sqrt{\frac{1}{T_0}} \quad \text{và} \quad c_{T_0} = -\frac{1}{2} C_c p_0 T_0^{-3/2} \quad (G.4)$$

Như vậy công thức (G.3) có thể được viết lại như sau (G.5):

$$u_c^2(q_{ma}) = \frac{p_0^2}{T_0} u^2(C_c) + \frac{C_c^2}{T_0} u^2(p_0) + \frac{C_c^2 p_0^2}{4T_0^2} u^2(T_0) \quad (G.5)$$

Và khi chia cho q_{ma}^2 có kết quả như trong Công thức (G.6):

$$\frac{u_c^2(q_{ma})}{q_{ma}^2} = \frac{u^2(C_c)}{C_c^2} + \frac{u^2(P_0)}{P_0^2} + \frac{u^2(T_0)}{4T_0} \quad (G.6)$$

Như vậy, các hệ số nhạy tương đối, c^* , được cho bởi Công thức (G.7):

$$c_{\varphi_c}^* = 1, \quad c_{P_0}^* = 1, \quad \text{và} \quad c_{T_0}^* = -\frac{1}{2} \quad (G.7)$$

G.1.2.1 Độ không đảm bảo đo trong hệ số hiệu chuẩn, φ_c

Chứng chỉ hiệu chuẩn cung cấp độ không đảm bảo đo mở rộng của hệ số hiệu chuẩn C_c , $U(C_c) = 0,25\%$ tại độ tin cậy 95% (hoặc với hệ phủ là 2); do vậy, $k = 2$ được dùng để tìm lại được độ không đảm bảo đo chuẩn. Việc hiệu chuẩn được thực hiện tại một phòng thí nghiệm bên ngoài. Dụng cụ đo dùng trong quá trình hiệu chuẩn là dụng cụ trong phòng thí nghiệm độc lập và vì vậy không có sự tương quan nào với thiết bị điều khiển dùng trong việc sử dụng vòi phun dòng. Tuy vậy, theo thực nghiệm hiệu chuẩn được tiến hành bằng cách sử dụng thiết bị điều khiển nhiệt độ và áp suất được dùng trong vận hành bình thường, sự tương quan phải được đưa vào trong tính toán.

G.1.2.2 Độ không đảm bảo đo trong phép đo áp suất ở phía trước đồng hồ, p_0

Đồng hồ dùng để đo áp suất thượng nguồn có chuẩn mực chấp nhận 0,5% toàn dải đo. Thiết bị đo có dải đo là 2 MPa (20 bar) và áp suất trên đường ống bình thường là 1,5 MPa (15 bar). Khi không có sự hiệu chỉnh hiệu chuẩn được áp dụng cho các giá trị đo của đồng hồ nằm trong giới hạn cho phép, độ không đảm bảo đo lớn nhất là 0,5% của 2 MPa (20 bar) hoặc 0,010 MPa (0,1 bar). Không có gì được biết về sự phân bố của các giá trị hiệu chuẩn trong phạm vi được chấp nhận và do vậy, điều cần thận trọng để ý đến quan điểm bi quan và thừa nhận tất cả các giá trị là có khả năng bằng nhau, nghĩa là phân bố hình chữ nhật. Do vậy độ không đảm bảo đo chuẩn là 0,010 MPa (0,1 bar) chia cho $\sqrt{3}$, hoặc 0,0058 MPa (0,058 bar). Trong sử dụng, thiết bị được đọc qua mạch thu thập dữ liệu máy tính 10 bit có độ phân giải của 1 phần của 1024. Toàn dải của mạch được cài đặt cho giá trị đọc toàn thang của đồng hồ đo áp suất [2 MPa (0,02 bar)], do vậy, 1 bit trên mạch máy tính thể hiện 2MPa (20 bar) được chia cho 1024 hoặc 0,002 MPa (0,02 bar). Do đó, độ không đảm bảo đo mở rộng là 0,001 MPa (0,01 bar) và như thế giá trị hiện số biểu thị tất cả các giá trị trong dải với xác suất bằng nhau, phân bố hình chữ nhật được thừa nhận, dẫn đến độ không đảm bảo đo chuẩn 0,001 MPa (0,01bar) được chia cho $\sqrt{3}$, hoặc 0,00058 MPa (0,0058 bar). Giá trị này được cộng thêm vào độ không đảm bảo hiệu chuẩn theo phép cầu phương của để có được độ không đảm bảo đo tổng thể, biểu thị bằng đơn vị đo áp, được tính bằng Công thức (G.8). Như vậy $u^2(P_0)$, biểu thị bằng đơn vị áp suất bình phương, bằng $(0,0058^2 + 0,00058^2)$ MPa² [(0,058² + 0,0058²) bar²] và $u(P_0)$ bằng 0,0058 MPa (0,058bar). Với áp suất vận hành 1,5MPa (15 bar), độ không đảm bảo đo chuẩn tương đối tổng thể trong quá trình đo áp suất là 0,0058/1,5 (biểu thị bằng MPa)[0,058/15 (biểu thị bằng bar)], hoặc 0,39%.

$$\begin{aligned} u(P_0) &= \sqrt{(0,0058^2 + 0,00058^2)} = 0,0058 \text{ MPa} & (G.8) \\ &= \sqrt{(0,058^2 + 0,0058^2)} = 0,058 \text{ bar} \end{aligned}$$

G.1.2.3 Độ không đảm bảo đo trong phép đo nhiệt độ thượng nguồn, T_0

Nhiệt độ thượng nguồn được đo bằng cặp nhiệt điện Loại J có độ không đảm bảo đo được công bố tại độ tin cậy 95 % là 1 K. Đây là độ đảm bảo đo mở rộng và khi độ tin cậy được công bố là 95 %, nó thừa nhận rằng $k = 2$ lấy từ nguồn độ không đảm bảo đo chuẩn. Như vậy, độ không đảm bảo đo chuẩn là 1 K chia cho 2, hoặc 0,5 K. Việc chia thang đo trên mặt hiển thị nhiệt độ là 0,1 K, cung cấp một độ không đảm bảo đo 0,05 K. Loại này được phân bổ hình chữ nhật và độ không đảm bảo đo chuẩn là 0,05 K chia cho $\sqrt{3}$, hoặc là 0,029 K. Độ không đảm bảo đo cộng thêm xuất hiện từ việc sử dụng cặp nhiệt điện và nó đo chính xác nhiệt độ trung bình của dòng khí như thế nào. Que đo được lắp đặt theo khuyến cáo của ISO 9300 và do đó tác động của dòng nén là nhỏ. Tại 313 K nhiệt độ của khí là gần với môi trường xung quanh và ống dẫn ảnh hưởng đến que đo cũng nhỏ. Độ không đảm bảo đo mở rộng 0,1 K được thừa nhận và điều này được đánh giá để có một phân bố hình chữ nhật cho độ không đảm bảo đo chuẩn 0,1 K chia cho $\sqrt{3}$, hoặc 0,058 K. Độ không đảm bảo đo chuẩn từ các nguồn khác nhau là độc lập với những nguồn khác và được cộng thêm vào phép toán cầu phương để đạt được độ không đảm bảo đo chuẩn tổng quát trong phép đo nhiệt độ như trong Công thức (G.9), với $u^2(T_0)$ được biểu thị bằng bình phương nhiệt độ kelvin và $u(T_0)$ biểu thị bằng nhiệt độ Kelvins:

$$u(T_0) = \sqrt{(0,5^2 + 0,028^2 + 0,058^2)} \quad (G.9)$$

$$= 0,5$$

Với nhiệt độ vận hành là 313 K. Độ không đảm bảo đo tương đối, $u^*(T_0)$, biểu thị bằng nhiệt độ Kelvin, bằng 0,5 chia cho 313 bằng 0,16 %.

G.1.2.4 Độ không đảm bảo đo kết hợp

Độ không đảm bảo đo kết hợp được trình bày trong Bảng G.1.

Bảng G.1 – Bảng kết hợp độ không đảm bảo đo

Ký hiệu	Nguồn gây ra độ không đảm bảo đo	Độ không đảm bảo đo mở rộng tương đối $U^*(x_i)$ %	Phân bố xác suất	Hệ số chia	Hệ số nhạy tương đối $c^* i$	Độ không đảm bảo đo chuẩn tương đối $u^*(x_i)$ %	Giá trị đóng góp vào độ không đảm bảo đo tổng thể $[c_i u(x_i)]^2 10^{-4}$
$u^*(\varphi_c)$	Hiệu chuẩn	0,25	Chuẩn	2,00	1,00	0,13	0,02
$u^*(p_0)$	Áp suất	0,67	Hình chữ nhật	1,73	1,00	0,39	0,15
$u^*(T_0)$	Nhiệt độ	0,32	Chuẩn	2,00	0,50	0,16	0,01
				Số nhân			0,18
	Kết hợp	0,84	←	2,00	←	0,42	↙

Do đó, độ không đảm bảo đo chuẩn kết hợp, u_c^* , là 0,42 % và độ không đảm bảo đo mở rộng tổng thể $U_{95}^* = 0,84\%$. Từ Bảng G.1 có thể thấy rằng hầu hết độ không đảm bảo đo tổng thể của tốc độ dòng đến từ độ không đảm bảo đo trong phép đo áp suất thượng nguồn. Như một qui luật chung, khi ảnh hưởng độ không đảm bảo đo $[c_i u(x_i)]$ là nhỏ hơn 20 % của đóng góp lớn nhất, và nguồn nhỏ hơn có

thể được bỏ qua. Trong cột kết quả của Bảng G.1, các ảnh hưởng được chỉ ra như $[c_i u(x_i)]^2$ và do vậy chỉ những ảnh hưởng $(0,2)^2$ hoặc 4 % của ảnh hưởng lớn nhất có thể vẫn an toàn khi bị bỏ qua. Trên cơ sở này, mặc dầu ảnh hưởng từ phép đo nhiệt độ là nhỏ tại 7 % của ảnh hưởng áp suất, nó có thể không bị bỏ qua.

G.2 Ví dụ 2 – So sánh hai lưu lượng được đo bởi đồng hồ đo giống nhau

G.2.1 Quy định chung

Trong nhiều tình huống thiết kế, việc quan tâm không ở lưu lượng thực nằm trong tốc độ dòng thật mà việc so sánh lưu lượng được đo với cùng đồng hồ. Và khi đó, độ không đảm bảo đo của việc so sánh độc lập với nhiều độ không đảm bảo đo của lưu lượng được đo. Ví dụ này trình bày một phương pháp phân tích của việc so sánh.

Một công ty sản xuất bộ tản nhiệt dùng một đồng hồ loại lỗ tiết lưu để so sánh các lưu lượng làm lạnh qua các kiểu bộ tản nhiệt mới với các lưu lượng qua một kiểu quy chiếu

G.2.2 Mô hình toán học

Tính năng lưu lượng của bộ tản nhiệt được thể hiện trong điều kiện về hệ số lưu lượng, F , được xác định trong Công thức (G.10):

$$F = \frac{q}{\sqrt{\Delta p_r}} \quad (G.10)$$

Trong đó:

q là lưu lượng thể tích của chất làm lạnh;

Δp_r chênh lệch áp suất xuyên qua bộ tản nhiệt.

Trong quá trình xây dựng một bộ tản nhiệt mới, điều quan tâm là tỉ số, ϕ_F , của hệ số F_{exp} cho hiệu thiết kế mới với F_{ref} của kiểu quy chiếu. Như vậy đại lượng đo được tính toán theo Công thức (G.11):

$$\begin{aligned} \phi_F &= \frac{F_{exp}}{F_{ref}} \quad \text{hoặc} \quad \phi_F = \frac{(q_{exp} / \sqrt{\Delta p_{r,exp}})}{(q_{ref} / \sqrt{\Delta p_{r,ref}})} \\ &= \frac{q_{exp} \cdot \sqrt{\Delta p_{r,ref}}}{q_{ref} \cdot \sqrt{\Delta p_{r,exp}}} \end{aligned} \quad (G.11)$$

Trong đó chỉ số dưới “exp” và “ref” chỉ bộ tản nhiệt thí nghiệm và bộ tản nhiệt quy chiếu.

Lưu lượng, q , được đo với lỗ tiết lưu và được tính toán bằng Công thức (G.12):

$$q = \left(\frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \right) \left(\frac{\pi d_0^2}{4} \right) \sqrt{\frac{2\Delta p_{mt}}{\rho}} \quad (G.12)$$

trong đó:

C là hệ số xả;

d_0 là đường kính lỗ;

β là tỉ số của d_0 với đường kính ống, d_p ;

ρ là khối lượng riêng chất lỏng;

Δp_{mt} là chênh áp qua đồng hồ tầm lỗ.

Thay Công thức (G.12) vào Công thức (G.11) ta có Công thức (G.13):

$$\phi_F = \frac{\sqrt{\Delta p_{r,ref}} \cdot \left(\frac{C_{exp}}{\sqrt{1-\beta^4}} \right) \left(\frac{\pi d_0^2}{4} \right) \sqrt{\frac{2\Delta p_{mt,exp}}{\rho_{exp}}}}{\sqrt{\Delta p_{r,exp}} \cdot \left(\frac{C_{ref}}{\sqrt{1-\beta^4}} \right) \left(\frac{\pi d_0^2}{4} \right) \sqrt{\frac{2\Delta p_{mt,ref}}{\rho_{ref}}}} \quad (G.13)$$

Do kích thước của tấm tiết lưu giữ không đổi, d_0 và β có thể bỏ, ta có Công thức (G.14)

$$\phi_F = \frac{\sqrt{\Delta p_{r,ref}} \cdot C_{exp} \cdot \sqrt{\rho_{ref} \Delta p_{mt,exp}}}{\sqrt{\Delta p_{r,exp}} \cdot C_{ref} \cdot \sqrt{\rho_{exp} \Delta p_{mt,ref}}} \quad (G.14)$$

Do vậy đại lượng đo, ϕ_F là độc lập với kích thước của đồng hồ và với mọi độ không đảm bảo đo của những kích thước đó. Tương tự mọi độ không đảm bảo đo của C gây ra do vị trí rẽ nhánh hoặc độ nét của cạnh được giữ ổn định và không ảnh hưởng đến giá trị đo, ϕ_F . Khi đó C sẽ phụ thuộc duy nhất vào số Reynolds và nếu việc được thực hiện với những lưu lượng giống nhau, C_{exp} sẽ bằng C_{ref} vì C chỉ phụ thuộc rất ít vào số Reynolds. Như vậy, Công thức (G.14) được giản lược thành Công thức (G.15):

$$\phi_F = \sqrt{\frac{\Delta p_{r,ref} \cdot \rho_{ref} \cdot \Delta p_{mt,exp}}{\Delta p_{r,exp} \cdot \rho_{exp} \cdot \Delta p_{mt,ref}}} \quad (G.15)$$

G.2.3 Các phương sai đóng góp

Thay Công thức (G.15) vào Công thức (19) thành Công thức (G.16):

$$u_c^2(\phi_F) = c_{\rho,exp}^2 u^2(\rho_{exp}) + c_{\Delta p_{mt,exp}}^2 u^2(\Delta p_{mt,exp}) + c_{\Delta p_{r,ref}}^2 u^2(\Delta p_{r,ref}) + c_{\Delta p_{r,exp}}^2 u^2(\Delta p_{r,exp}) + \dots \quad (G.16)$$

$$\dots + c_{\rho_{ref}}^2 u^2(\rho_{ref}) + c_{\Delta p_{mt,ref}}^2 u^2(\Delta p_{mt,ref})$$

Hệ số nhạy tương đối có thể nhận được phép lấy đạo hàm riêng của Công thức (G.15) để có Công thức (G.17):

$$\frac{u_c^2(\phi_F)}{\phi_F^2} = \frac{1}{4} \frac{u^2(\rho_{exp})}{\rho_{exp}^2} + \frac{1}{4} \frac{u^2(\Delta p_{mt,exp})}{\Delta p_{mt,exp}^2} + \frac{1}{4} \frac{u^2(\Delta p_{r,ref})}{\Delta p_{r,ref}^2} + \frac{1}{4} \frac{u^2(\Delta p_{r,exp})}{\Delta p_{r,exp}^2} + \dots \quad (G.17)$$

$$\dots + \frac{1}{4} \frac{u^2(\rho_{ref})}{\rho_{ref}^2} + \frac{1}{4} \frac{u^2(\Delta p_{mt,ref})}{\Delta p_{mt,ref}^2}$$

Khi đó, hệ số nhạy tương đối được xác định bằng công thức (G.18):

$$c_{\rho_{ref}}^* = c_{\Delta p_{mt,exp}}^* = c_{\Delta p_{r,ref}}^* = 0,5 \quad ; \quad c_{\rho_{exp}}^* = c_{\Delta p_{mt,exp}}^* = c_{\Delta p_{r,exp}}^* = -0,5 \quad (G.18)$$

G.2.4 Độ không đảm bảo đo trong phép đo khối lượng riêng

Khối lượng riêng phụ thuộc vào thành phần của chất làm nguội (hỗn hợp nước- êtylen- glycol) và nhiệt độ. Các mẫu được lấy ra từ thiết bị trong từng phép thử và khối lượng riêng được ước lượng như là giá trị trung bình của bốn giá trị đọc được lấy từ tỷ trọng kế. Trong phép thử kiểu quy chiếu, giá trị khối lượng riêng trung bình là $1,070 \text{ kg/m}^3$ và trong phép thử kiểu thực nghiệm khối lượng riêng là $1,065 \text{ kg/m}^3$. Độ không đảm bảo đo của những giá trị này có thể có được từ độ lệch chuẩn của từng dãy bốn giá trị đọc nhưng điều xác định chính xác hơn từ độ lệch chuẩn thực nghiệm tích lũy của một số lớn hơn các phép thử trước đây. Năm lần thử nghiệm trước được dùng để đạt được độ lệch chuẩn tích lũy trên cơ sở 10 dãy với mỗi dãy là bốn giá trị đọc và giá trị nhận được là $1,60 \text{ kg/m}^3$. Độ không đảm bảo đo chuẩn có đơn vị là kg/m^3 , của giá trị trung bình của bốn giá trị đọc được tính bằng Công thức (G.19)

$$u(\rho_{mt}) = s(\rho_{mt}) = \frac{1,60}{\sqrt{4}} = 0,80 \quad (\text{G.19})$$

“Độ không đảm bảo đo” được công bố của khối lượng riêng kế là 1 kg/m^3 và nó có được lấy làm độ không đảm bảo đo mở rộng, với phân bố chuẩn ($k = 2$), suy ra độ không đảm bảo đo chuẩn là 1 kg/m^3 chia cho 2 hay là $0,5 \text{ kg/m}^3$. Độ không đảm bảo đo này được tương quan giữa hai phép đo khối lượng riêng. Khi đó các khối lượng riêng được dùng như là một tỷ số, các khối lượng riêng là tương quan phù định như được chỉ ra bằng các ký hiệu của độ nhạy tương đối được tính trong G.2.3.

Độ không đảm bảo đo của việc hiệu chuẩn khối lượng riêng kế có xu hướng triệt tiêu, mặc dầu vậy chúng chỉ triệt tiêu hoàn toàn nếu khối lượng riêng thực sự bằng nhau. Trong thử nghiệm kiểu quy chiếu, độ không đảm bảo đo tương đối của khối lượng riêng do việc hiệu chuẩn khối lượng riêng kế, $u^*(\rho_{ref})_{calib}$, bằng $0,5 \text{ kg/m}^3$ chia cho $1,070 \text{ kg/m}^3$ hay là $0,0467 \%$. Trong thử nghiệm kiểu thí nghiệm, độ không đảm bảo đo tương đối của khối lượng riêng do việc hiệu chuẩn khối lượng riêng kế, $u^*(\rho_{exp})_{calib}$, bằng $0,5 \text{ kg/m}^3$ chia cho $1,065 \text{ kg/m}^3$, hoặc là $0,0469 \%$. Thay cho những giá trị này và những giá trị của hệ số nhạy tương đối được tính trong G.2.3 vào Công thức (F.2), độ không đảm bảo đo tổng hợp do tương quan giữa hai khối lượng riêng sinh ra từ việc hiệu chuẩn chung có thể được tính theo Công thức (G.20):

$$\begin{aligned} u_c^* &= c_1^* u^*(x_1) + c_2^* u^*(x_2) + \dots + c_N^* u^*(x_N) & (\text{G.20}) \\ &= 0,5.0,000469 - 0,5.0,000467 \\ &= 0,000001 \text{ hoặc } 0,0001\% \end{aligned}$$

Điều này khẳng định rằng trong trường hợp các khối lượng riêng dường như là bằng nhau mà độ không đảm bảo đo hiệu chuẩn còn dư có thể được bỏ qua.

Việc sử dụng độ lệch chuẩn của nhiều giá trị đọc từ khối lượng riêng kế để có khối lượng riêng làm cho nó trở nên không cần thiết phải xem xét ảnh hưởng của độ phân giải mà khối lượng riêng kế có thể được đọc. Nguồn này của độ không đảm bảo đo đã được tính đến như là một đóng góp vào sự phân tán của các giá trị nhận được, và thực hiện bất cứ sự thừa nhận nào thêm sẽ dẫn đến kết quả là nó được tính hai lần.

Khi đó, độ không đảm bảo đo phần trăm trong mỗi hai khối lượng riêng là 0,8 % chia cho 1,070 hoặc 0,075 %.

G.2.5 Độ không đảm bảo đo trong các giá trị đọc của áp kế.

Tất cả áp suất trong thiết bị thử nghiệm được đo bằng cách dùng thủy ngân trong ống thủy tinh, áp kế hình ống chữ U. Khi áp suất chỉ được dùng trong tính toán tỉ số áp suất, các giá trị đọc áp kế được dùng trực tiếp không cần chuyển đổi thành đơn vị áp suất. Trong mọi trường hợp, bốn giá trị đọc được lấy và giá trị trung bình được tính toán, các giá trị cho trong Bảng (G.2)

Bảng G.2 – Các số đọc của áp kế

Vị trí áp kế	Giá trị trung bình mm Hg	Độ lệch chuẩn mm Hg
Qua tấm tiết lưu	264	1,7
Qua tấm lỗ	249	1,9
Qua bộ tản nhiệt quy chiếu	637	2,8
Qua bộ tản nhiệt thí nghiệm	632	2,8

Khi đó với phép đo khối lượng riêng, độ không đảm bảo đo có thể đạt được từ những dãy giá trị đọc riêng biệt hoặc từ việc tích lũy những dãy thí nghiệm trước. Tuy nhiên, có một chức năng thứ ba và đó là tích lũy những độ lệch chuẩn thực nghiệm của hai dãy các giá trị đọc của tấm tiết lưu để có một độ lệch chuẩn cho dải chênh áp đó và cũng như thế để tích lũy dữ liệu của bộ tản nhiệt cho chênh áp lớn hơn. Độ lệch chuẩn tích lũy, s_{po} , được tính toán theo Công thức (G.21):

$$s_{po} = \sqrt{\frac{\sum s_j^2 v_j}{\sum v_j}} \quad (G.21)$$

Trong đó:

s_j là độ lệch chuẩn của dãy j ;

v_j là số bậc tự do trong độ lệch chuẩn của dãy thứ j , bằng số giá trị đọc trong dãy j trừ đi 1.

Như thế, độ lệch chuẩn thực nghiệm tích lũy, $s_{mt,po}$, được biểu thị bằng milimét của thủy ngân, của số đọc lỗ tiết lưu được tính toán theo Công thức (G.22):

$$s_{mt,po} = \sqrt{\frac{[(4-1).1,7^2 + (4-1).1,9^2]}{[(4-1) + (4-1)]}} = 1,8 \quad (G.22)$$

Và độ lệch chuẩn thực nghiệm tích lũy, $s_{r,po}$, đơn vị mili mét thủy ngân, của giá trị đọc của bộ tản nhiệt được tính toán theo công thức (G.23):

$$s_{r,po} = \sqrt{\frac{[(4-1).2,8^2 + (4-1).2,6^2]}{[(4-1) + (4-1)]}} = 2,7 \quad (G.23)$$

Khi giá trị trung bình của các giá trị đọc trong mọi dãy đạt được từ bốn giá trị đọc lặp lại, độ không đảm bảo đo chuẩn của giá trị trung bình là 1,8 chia cho $\sqrt{4}$, hoặc 0,9 mm Hg cho các giá trị của lỗ tiết lưu và 2,7 chia cho $\sqrt{4}$, hoặc 1,35 mm Hg đối với bộ tản nhiệt.

Khi có những giá trị đọc của áp kế, độ phân giải của thang đo áp kế đã được tính đến bằng việc sử dụng giá trị đọc nhiều lần và việc tính toán hai lần được ngăn ngừa bằng cách không xem xét đến nguồn độ không đảm bảo đo này. Độ không đảm bảo đo cộng thêm sẽ nảy sinh từ những sự không hoàn hảo trên thước đo của áp kế nhưng chúng được đánh giá là nhỏ so với độ không đảm bảo đo chuẩn nhận được từ sự phân tán của các giá trị đọc và theo sự hướng dẫn trong G.1.2.4, chúng được bỏ qua.

G.2.6 Độ không đảm bảo đo kết hợp trong tỉ lệ dòng, ϕ_F

Bảng G.3 kết hợp độ không đảm bảo đo kết hợp của tỷ số lưu lượng, ϕ_F ,

Bảng G.3 - Bảng kết hợp độ không đảm bảo đo của dòng, ϕ_F

Nguồn	Đơn vị	Giá trị	Độ không đảm bảo đo chuẩn	Độ không đảm bảo đo chuẩn tương đối $u^*(x_i)$ %	Hệ số nhạy tương đối, c^*_i	Giá trị đóng góp vào độ không đảm bảo đo tổng thể $[c_i u(x_i)]^2 10^{-4}$
Khối lượng riêng chuẩn	kg/m ³	1 070	0,8	0,074 8	0,5	0,001 4
Khối lượng riêng thực nghiệm	kg/m ³	1 065	0,8	0,075 1	-0,5	0,001 4
Bức xạ chuẩn, Δp	mm Hg	637	1,35	0,211 9	0,5	0,011 2
Bức xạ thực nghiệm, Δp	mm Hg	632	1,35	0,213 6	-0,5	0,011 4
Lỗ tiết lưu chuẩn, Δp	mm Hg	264	0,9	0,340 9	-0,5	0,029 1
Lỗ tiết lưu thực nghiệm, Δp	mm Hg	249	0,9	0,361 4	0,5	0,032 7
Kết hợp tương quan của độ không đảm bảo đo chuẩn, biểu thị bằng phần trăm			$\sqrt{\sum [c^*_x u^*(x)]^2}$	0,295 2	$\sum [c^*_x u^*(x)]^2$	0,087 2

Bảng G.3 chỉ ra rằng phép đo khối lượng riêng chỉ có ảnh hưởng nhỏ đến độ không đảm bảo đo tổng thể và do đó có thể bỏ qua. Sự chênh áp tạo ra các đóng góp hầu như bằng nhau và tất cả cần được xem xét.

Để đạt được độ không đảm bảo đo mở rộng tại độ tin cậy 95 %, cần thiết phải đánh giá số bậc tự do trong độ không đảm bảo đo chuẩn và điều này được thực hiện bằng Công thức (C.1), Công thức Welch-Satterthwaite.

Độ không đảm bảo đo trong hai giá trị khối lượng riêng đạt được từ độ lệch chuẩn thực nghiệm chung nhận được từ 10 dãy dữ liệu với mỗi dãy có bốn giá trị đọc. Do vậy có ba bậc tự do trong mỗi dãy dữ liệu và $3 \times 10 = 30$ trong độ lệch chuẩn tích lũy.

Độ không đảm bảo đo trong bốn giá trị chênh áp nhận được từ độ lệch chuẩn tích lũy suy ra từ hai dãy dữ liệu với mỗi dãy có bốn giá trị đọc. Do vậy có ba bậc tự do trong mỗi dãy và $3 \times 2 = 6$ trong hai độ lệch chuẩn tích lũy.

Công thức (C.1) được diễn giải trong Bảng G.4

Bảng G.4 – Tính toán bậc tự do ảnh hưởng đến độ không đảm bảo đo kết hợp

Nguồn	Bậc tự do v_x	Độ không đảm bảo đo chuẩn tương đối $u^*(x_i)$ %	Hệ số nhạy tương đối c^*_i	Giá trị đóng góp vào độ không đảm bảo đo $c^*_i u^*(x_i)$ %	$\frac{[c^*_i u^*(x_i)]^4}{v_i}$ 10^{-8}
Khối lượng riêng chuẩn	30	0,074 8	0,5	0,037 4	$0,652 \times 10^{-7}$
Khối lượng riêng thực nghiệm	30	0,075 1	-0,5	-0,037 6	$0,663 \times 10^{-7}$
Bức xạ chuẩn, Δp	6	0,211 9	0,5	0,211 9	$0,210 \times 10^{-4}$
Bức xạ thực nghiệm, Δp	6	0,213 6	-0,5	-0,213 6	$0,217 \times 10^{-4}$
Lỗ tiết lưu chuẩn, Δp	6	0,340 9	-0,5	-0,170 5	$0,141 \times 10^{-3}$
Lỗ tiết lưu thực nghiệm, Δp	6	0,361 4	0,5	0,180 7	$0,178 \times 10^{-3}$
$\sum \frac{[c^*_i u^*(x_i)]^4}{v_i}$					0,000 361
Độ không đảm bảo đo chuẩn kết hợp tương đối					0,295 2 %
Bậc tự do hiệu quả kết hợp					21

Với 21 bậc tự do, bảng C.1. cho một hệ số phủ là 2,13 tại độ tin cậy 95 % và độ không đảm bảo đo mở rộng U_{95} của tỉ lệ dòng bằng 2,13 lần 0,295 % hoặc là 0,63 %. Có dữ liệu thực nghiệm cho giá trị đọc khối lượng riêng kể không được thêm vào, bậc tự do cho mỗi áp suất chênh lệch trong Bảng G.4 sẽ được cho là ba và việc phân tích bằng đó sẽ cho kết quả bậc tự do tác động tổng thể là 10. Điều này sẽ có một giá trị 2,28 với k tại độ tin cậy 95 % và độ không đảm bảo đo mở rộng U_{95} của tỉ lệ dòng bằng 2,28 lần 0,295 % hoặc 0,67 % (bằng 2,28 nhân với 0,295 % hoặc nhân với 0,67 %).

G.3 Ví dụ 3 – Tính toán độ không đảm bảo đo của phép đo dòng bằng lỗ tiết lưu

G.3.1 Quy định chung

Lỗ tiết lưu được sản xuất theo yêu cầu TCVN 8113-2 (ISO 5167-2)^[6]. Đường kính của lỗ tiết lưu được đo tại phòng kiểm tra của nhà máy tại nhiệt độ 20 °C và khi đó thiết bị được dùng với lỗ là D và D/2 để đo dòng của chất lỏng công nghiệp tại nhiệt độ xử lý là 170 °C.

Phương pháp tính toán thực nghiệm được nêu trong TCVN 8113-1:2009 (ISO 5167-1: 2003)^[1] phù hợp với tiêu chuẩn quốc tế khi những ảnh hưởng cấp hai và việc mở ra mối tương quan được ước định trước tiên theo Công thức (3) cho những tham số quan trọng. Tuy nhiên, phương pháp nghiêm ngặt hơn dưới đây thể hiện mối tương quan. Phương pháp này không nằm trong phạm vi cần thiết trong tất

cả các ứng dụng thực nghiệm của lỗ tiết lưu, mà phương pháp nêu trong TCVN 8113-1:2009 (ISO 5167-1:2003) [1] là phù hợp.

G.3.2 Mô hình toán học

Mô hình toán học được nêu ra bởi Công thức (24):

$$q_{ma} = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \frac{\pi d_0^2}{4} \sqrt{2\rho\Delta p_{mt}} \tag{G.24}$$

Và C được tính bởi Công thức (25), Công thức Reader- Harris/Gallagher (1998) [8]:

$$\begin{aligned} C = & 0,5961 + 0,0261\beta^8 - 0,216\beta^8 + 0,000521 \left(\frac{10^{6\beta}}{Re_{dp}} \right)^{0,7} + \dots \\ & \dots + (0,0188 + 0,0063F_{Re_{dp}}) \cdot \beta^{3,5} \cdot \left(\frac{10^6}{Re_{dp}} \right)^{0,3} + \dots \\ & \dots + (0,043 + 0,080e^{-10L_1} - 0,123e^{-7L_1}) \cdot (1 - 0,11F_{Re_{dp}}) \cdot \left(\frac{\beta^4}{1-\beta^4} \right) - 0,031(M'_2 - 0,8M_2^{1,1})\beta^{1,3} \end{aligned} \tag{G.25}$$

Trong đó:

- β là tỉ lệ đường kính lỗ tiết lưu bằng d_o/d_p ;
- d_0 là đường kính trong của lỗ tiết lưu;
- d_p là đường kính ống;
- ρ là khối lượng riêng chất lỏng;
- Δp_{mt} là chênh áp xuyên qua lỗ tiết lưu;
- Re_{dp} là hệ số Reynolds liên quan đến d_p bởi biểu thức $Vd_p\rho/\mu$;
- V là vận tốc trung bình trong ống;
- μ là độ nhớt của chất lỏng;
- L_1 là khoảng cách, l_1 , từ điểm rẽ nhánh thượng nguồn đến mặt lỗ tiết lưu thượng nguồn chia cho đường kính ống d_p ;

CHÚ THÍCH 1 : khi đồng hồ đo được thiết kế và lắp đặt theo yêu cầu của TCVN 8113-2 (ISO 5167-2), L_1 có thể được coi là bằng 1 và tùy thuộc vào l_1 có thể bị giảm trong quá trình phân tích (TCVN 8113-2 :2009(ISO 5167-2:2003, 5.3.2.1) [5]);

- L'_2 là khoảng cách, l'_2 , từ điểm rẽ nhánh hạ nguồn đến mặt lỗ tiết lưu hạ nguồn chia cho đường kính ống, d_p .

CHÚ THÍCH 2 : khi đồng hồ đo thiết kế và lắp đặt theo yêu cầu của TCVN 8113-2 (ISO 5167-2), L'_2 có thể coi như bằng 0,47 và tùy thuộc vào l'_2 có thể bị giảm trong quá trình phân tích [TCVN 8113-2 :2009(SO 5167-2:2003, 5.3.2.1) [5];

M'_2 bằng $2L'_2/(1-\beta)$;

F_{Redp} bằng $(19000 \cdot \beta / Re_{dp})^{0,8}$

Khi lỗ tiết lưu và kích thước ống được đo tại nhiệt độ khác với nhiệt độ vận hành, thì độ giãn nở của lỗ tiết lưu và đường ống phải được tính đến. Tất cả những thành phần được làm từ hợp kim duralumin với hệ số giãn nở λ bằng $27 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$. Diện tích tuyến tính điển hình, x , được tính toán bởi Công thức (G.26):

$$x = x_0 \cdot [1 + \lambda(T_{op} - T_{0,x})] \quad (\text{G.26})$$

Trong đó:

x_0 là diện tích tại nhiệt độ $T_{0,x}$

T_{op} là nhiệt độ vận hành.

Tất cả những tham số phụ thuộc vào độ dài, như β và M'_2 có thể được mã hóa trong mô hình với diện tích tại $T_{0,x}$ và độ giãn nở của chúng. Ví dụ β được thay trong Công thức (G.24) bởi độ giãn nở được nêu trong Công thức (G.27):

$$\beta = \{d_{o,0}[1 + \lambda_{do}(T_{op} - T_{0,x,do})]\} / \{d_{p,0}[1 + \lambda_{dp}(T_{op} - T_{0,x,dp})]\} \quad (\text{G.27})$$

Trong trường hợp này, tất cả những tương quan do nhiệt độ được loại bỏ, để tránh làm cho công thức (G.25) phức tạp.

G.3.3 Những biến thiên đóng góp

Rõ ràng từ Công thức (G.24) và (G.25) lưu lượng được đo sẽ phụ thuộc vào số những lần đo trong một cách phức tạp. Những lần đo cơ bản rơi vào hai nhóm: liên quan đến hình học cơ bản của đồng hồ đo và liên quan với điều kiện đo. Độ không đảm bảo đo trong nhóm đầu tiên sẽ được gán cho tất cả những phương pháp đo được thực hiện với lỗ tiết lưu trong khi đó độ không đảm bảo đo của nhóm thứ hai là khác nhau của mỗi lần đo.

Mối liên hệ hàm số giữa q_{ma} và những biến đầu vào quá phức tạp đối phương pháp phân tích và phương pháp số học để việc tính toán hệ số nhạy chỉ là phương pháp thực nghiệm có thể thực hiện. Tuy nhiên, Công thức (19) có thể được biến đổi thành Công thức (G.28):

$$u_c^2(q_{ma}) = c_1^2 u^2(1) + c_2^2 u^2(2) + \dots + c_n^2 u^2(n) \quad (\text{G.28})$$

Trong đó:

c_i là hệ số nhạy cho biến đầu vào i ;

$u(i)$ là độ không đảm bảo đo cho biến vào i .

Biến n đầu vào và giá trị danh định như sau:

- $d_{o,0}$ 60 mm;
- $d_{d,0}$ 100 mm;
- $T_{0,x}$ 20 $^\circ\text{C}$;
- T_{op} (nhiệt độ vận hành thực tế);
- T_{op} danh nghĩa 170 $^\circ\text{C}$;
- Δp 5 500 Pa;

- λ $27 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$;
- ρ $937,5 \times [1 - 0,006 0 \times (T_{op} - T_{op \text{ danh nghĩa}})] \text{ kg/m}^3$;
- μ $604,0 \times [1 - 0,014 \times (T_{op} - T_{op \text{ danh nghĩa}})] \times 10^{-6} \text{ Pa.s}$

Một số tham số (d_o , d_p , ρ và μ) có thể thấy phụ thuộc vào nhiệt độ và độ không đảm bảo đo gây ra do độ không đảm bảo đo trong việc xác định chu trình nhiệt độ tương quan với nhau.

Điều này làm phức tạp việc tính toán độ không đảm bảo đo tổng thể nhưng những khó khăn này có thể vượt qua được bởi việc mã hóa mỗi nhiệt độ phụ thuộc vào bảng tính toán độ nhạy. Theo cách này, những ảnh hưởng bậc hai của nhiệt độ C thông qua sự thay đổi của số Reynold cũng phải được tính đến.

Công thức Reader – Harris/Gallagher (1998) là phù hợp nhất với dữ liệu có giá trị và do đó tùy thuộc vào một vài độ không đảm bảo đo, yêu cầu hệ số nhạy theo giá trị C .

Kết quả phân tích độ nhạy được nêu ra trong Bảng G.5

Bảng G.5 – Tính toán hệ số nhạy

Thông số	Số gia	Thông số											
		$d_{p,0}$	$d_{o,0}$	$T_{0,x}$	T_{op}	ρ	Δp	$\lambda \times 10^6$ trên $^\circ\text{C}$	$\mu \times 10^6$ Pa.s	C	q_{ma}	c	c^*
		m	m	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	kg/m^3	Pa			-	kg/s		
		Số gia											
		0,100 0	0,060 0	20,0	170,0	937,5	5 500	27,0	604,0	0,600	5,994 0	—	—
$d_{p,0}$	0,000 1	0,100 1	0,060 0	20,0	170,0	937,5	5 500	27,0	604,0	0,600	5,992 0	-20,59	-0,344
$d_{o,0}$	0,000 1	0,100 0	0,060 1	20,0	170,0	937,5	5 500	27,0	604,0	0,600	6,017 6	235,3	2,352
$T_{0,x}$	0,2	0,100 0	0,060 0	20,2	170,0	937,5	5 500	27,0	604,0	0,600	5,994 0	0,000 3 ^a	-0,001 ^a
T_{op}	0,2	0,100 0	0,060 0	20,0	170,2	937,5	5 500	27,0	604,0	0,600	5,990 4	-0,018 1	-0,514
ρ	1	0,100 0	0,060 0	20,0	170,0	938,5	5 500	27,0	604,0	0,600	5,997 2	0,003 2	0,500
Δp	5	0,100 0	0,060 0	20,0	170,0	937,5	5 505	27,0	604,0	0,600	5,996 8	0,000 5	0,500
λ	1	0,100 0	0,060 0	20,0	170,0	937,5	5 500	28,0	604,0	0,600	5,995 8	1795,6	0,008
μ	1	0,100 0	0,060 0	20,0	170,0	937,5	5 500	27,0	605,0	0,600	5,994 1	49,98	0,005
C	0,001	0,100 0	0,060 0	20,0	170,0	937,5	5 500	27,0	604,0	0,601	6,004 0	9,990	1,000

^a Giá trị c và c^* trong kết quả của dòng này từ sự thay đổi của q_{ma} , nó quá nhỏ để hiển thị trong bảng.

G.3.4 Độ không đảm bảo đo trong phép đo đường kính ống, $d_{p,0}$

Đường kính đường ống được đo bởi trắc vi kế bên trong xuyên qua bốn đường kính của ống và giá trị trung bình d_p của những giá trị này. Trắc vi kế được hiệu chuẩn với một độ không đảm bảo đo mở rộng ($k = 2$) là 0,01 mm, cho độ không đảm bảo đo chuẩn là 0,005 mm. Trắc vi kế có độ phân giải là 0,01 mm, điều này được xem như phân bố chữ nhật với xác suất bằng nhau cho tất cả các giá trị ($k = \sqrt{3} = 1,73$); khi đó độ không đảm bảo đo chuẩn là 0,01 mm chia cho 2 và sau đó chia cho $\sqrt{3}$, hoặc 0,002 9 mm. Việc sử dụng trắc vi kế cho ra một độ không đảm bảo đo bổ sung và điều này được đánh giá như là phân bố hình chữ nhật ($k = 1,73$) với dải của đo là 0,04 mm, cho độ không đảm bảo đo chuẩn là

0,011 5 mm. Việc dùng giá trị trung bình của bốn số đọc sẽ làm giảm ảnh hưởng của độ không đảm bảo đo bởi độ phân giải và việc sử dụng vi kế khi độ không đảm bảo đo trong những lần đo liên tiếp không có liên quan nhưng quá trình trung bình sẽ không ảnh hưởng đến độ không đảm bảo đo do việc hiệu chuẩn, mà nó được tương quan thông qua tất cả những số đọc và tác động một cách bằng nhau đến các số đọc. Do đó độ phân giải và độ không đảm bảo đo sử dụng được tính tổng cộng trong phép cầu phương, và chia cho $\sqrt{n} = \sqrt{4} = 2$, trước khi được cộng vào phép cầu phương độ không đảm bảo đo hiệu chuẩn.

Như vậy, độ không đảm bảo không tương quan chuẩn kết hợp, biểu thị bằng milimét, của những số đọc đơn lẻ được tính theo Công thức (G.29):

$$\begin{aligned} u(d_{p,0})_{sm} &= \sqrt{(0,0029^2 + 0,0115^2)} \\ &= 0,0119 \end{aligned} \quad (G.29)$$

Độ không đảm bảo không tương quan chuẩn kết hợp của giá trị trung bình của bốn số đọc là 0,0119 chia cho căn bậc hai của n , trong đó $n = 4$ bằng 0,0059 mm.

Độ không đảm bảo đo chuẩn kết hợp tổng cộng, biểu thị bằng milimét, trong phép đo đường kính được tính bằng Công thức sau (G.30):

$$\begin{aligned} u(d_{p,0}) &= \sqrt{(0,0059^2 + 0,005^2)} \\ &= 0,0078 \end{aligned} \quad (G.30)$$

Giá trị mở rộng ($k = 2$) là 0,015 5 mm. Với giá trị danh định $d_p = 100$ mm, điều này dẫn đến độ không đảm bảo tương đối là 0, 016 %.

G.3.5 Độ không đảm bảo trong phép đo đường kính lỗ tiết lưu, $d_{o,0}$

Đường kính trong (lỗ) của lỗ tiết lưu được đo bằng trắc vi kế cỡ nhỏ, sử dụng qui trình giống nhau. Việc phân tích chính xác d_p đối với độ không đảm bảo mở rộng ($k = 2$) kết quả là 0,015 5 mm. Giá trị danh định $d_0 = 60$ mm và do đó độ không đảm bảo đo tương đối là 0,026 %.

G.3.6 Độ không đảm bảo đo trong phép đo nhiệt độ, $T_{0,x}$

Phòng kiểm tra được duy trì nhiệt độ $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Được tính bằng phân bố hình chữ nhật với độ không đảm bảo đo chuẩn ở $2 \text{ }^\circ\text{C}$ chia cho $\sqrt{3}$, hoặc $1,15 \text{ }^\circ\text{C}$. Với hệ số nhạy là 0,001, không cần phân tích thêm, ví dụ như hiệu chuẩn thiết bị đo nhiệt độ.

G.3.7 Độ không đảm bảo đo trong phép đo nhiệt độ chất lỏng, T_{op}

Đo nhiệt độ của chất lỏng sử dụng nhiệt kế điện trở platin với độ không đảm bảo đo hiệu chuẩn công bố ở $0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ($k = 2$) cho một độ không đảm bảo đo chuẩn là $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Thiết bị hiển thị có khoảng đo là $0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ cho độ không đảm bảo đo chuẩn là $0,058 \text{ }^\circ\text{C}$. Độ không đảm bảo đo dùng được đánh giá cơ sở lắp đặt nhiệt kế tại nhiệt độ mà có điều kiện tốt để dòng chất lỏng có suất dẫn nhiệt độ thấp và giá trị độ không đảm bảo đo được thừa nhận là $1 \text{ }^\circ\text{C}$. Điều này được thực hiện khi có phân bố hình chữ nhật

cho độ không đảm bảo đo chuẩn là $0,58\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lưu lượng dòng được tính toán từ phép đo nhiệt độ đơn lẻ và độ không đảm bảo đo kết hợp của phép đo nhiệt độ, biểu thị bằng đơn vị là $^{\circ}\text{C}$, tính theo công thức (G.31):

$$u(T_{op}) = \sqrt{(0,1^2 + 0,058^2 + 0,58^2)^2} = 0,59 \quad (\text{G.31})$$

Khi độ không đảm bảo đo mở rộng là $1,18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($k = 2$)

G.3.8 Độ không đảm bảo đo trong phép đo khối lượng riêng, ρ

Công thức được dùng để trình bày sự phụ thuộc vào nhiệt độ của khối lượng riêng chất lỏng được biết phù hợp với dữ liệu độ không đảm bảo đo mở rộng là 2% ($k = 2$) và do vậy, độ không đảm bảo đo chuẩn là 1% hoặc $9,4\text{ kg/m}^3$. Độ không đảm bảo đo sinh ra từ các độ không đảm bảo đo trong phép đo nhiệt độ chất lỏng đã được tính đến trong phân tích ảnh hưởng của độ không đảm bảo đo và không cần thiết xem xét lại.

G.3.9 Độ không đảm bảo đo trong phép đo sự chênh áp, Δp

Chênh áp xuyên qua lỗ tiết lưu được đo bằng một bộ chuyển đổi chênh áp với độ không đảm bảo đo hiệu chuẩn là $0,5\%$ ($k = 2$) cho độ không đảm bảo đo chuẩn là $0,25\%$ hoặc $13,75\text{ Pa}$. Bộ hiển thị có độ phân giải 10 Pa cho độ không đảm bảo đo chuẩn là $2,9\text{ Pa}$. Cho phép những yếu tố như môi trường vận hành với độ không đảm bảo đo được là 1% số đọc được công nhận và điều này được nhận biết như một phân bố hình chữ nhật cho độ không đảm bảo đo chuẩn, biểu thị bằng phần trăm là 1 chia cho $\sqrt{3}$ bằng $0,58\%$ số đọc hoặc $31,75\text{ Pa}$. Khi lưu lượng dòng dẫn suất từ số đọc đơn lẻ của chênh áp, độ không đảm bảo đo kết hợp trong chênh áp, đơn vị là pascals, được tính theo Công thức (G.32)

$$u(\Delta p) = \sqrt{(13,75^2 + 2,9^2 + 31,75^2)^2} = 35 \quad (\text{G.32})$$

Khi đó độ không đảm bảo đo mở rộng ($k = 2$) là 70 Pa hoặc $1,27\%$.

G.3.10 Độ không đảm bảo đo trong phép đo hệ số giãn nở nhiệt, λ

Hệ số giãn nở nhiệt có độ không đảm bảo đo được cho trước là 5% , và nó được thừa nhận rằng tất cả những giá trị trong dải là có khả năng bằng nhau, cho độ không đảm bảo đo chuẩn là $2,89\%$ hoặc $7,8 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$.

G.3.11 Độ không đảm bảo đo trong phép đo độ nhớt của chất lỏng, μ

Công thức dùng để diễn đạt sự lệ thuộc của nhiệt độ vào độ nhớt của chất lỏng được biết gắn dữ liệu với độ không đảm bảo đo mở rộng là $0,3\%$ ($k = 2$) và do vậy độ không đảm bảo đo chuẩn là $1,5\%$ hoặc $9,1 \times 10^{-6}\text{ Pa.s}$. Độ không đảm bảo đo gây ra từ những độ không đảm bảo đo trong phép đo nhiệt độ chất lỏng đã được tính đến trong phân tích ảnh hưởng của độ không đảm bảo đo T_{op} (G.3.8) và không cần xem xét lại.

G.3.12 Độ không đảm bảo đo trong công thức Reader – Harris/ Gallagher(1998)

Công thức Reader – Harris/ Gallagher(1998) được biết đến để gắn dữ liệu với độ không đảm bảo đo mở rộng là 0,5 % ($k = 2$) và khi đó độ không đảm bảo đo chuẩn là 0,25 %. Giá trị danh định của hệ số xuất là 0,6 cho độ không đảm bảo đo chuẩn tuyệt đối là 0,0015.

G.3.13 Độ không đảm bảo đo kết hợp trong phép đo lưu lượng

Mặc dù hệ số độ nhạy tương đối được tính toán trong Bảng G.5, các đầu vào nhiệt độ có giá trị không tùy ý và do vậy, việc sử dụng giá trị tương đối là không thích hợp. Do đó, độ không đảm bảo đo kết hợp tổng thể được tính toán theo những số hạng tuyệt đối xác định trong Bảng G.6.

Bảng G.6 – Những dữ liệu độ không đảm bảo đo đối với ví dụ về lỗ tiết lưu.

Nguồn độ không đảm bảo đo	Đơn vị	Giá trị danh định	Độ không đảm bảo đo chuẩn $U(x_i)$	Hệ số nhạy C_i	Giá trị đóng góp vào độ không đảm bảo đo tổng thể $[c_i u(x_i)]^2$
Đường kính ống, d_p	mét	0,1	0,000008	-20,59	$27,1 \times 10^{-9}$
Lỗ tẩm đo, d_0	mét	0,06	0,000008	235,3	$3,54 \times 10^{-6}$
Nhiệt độ kiểm tra, $T_{0,x}$	$^{\circ}\text{C}$	20	1,15	-0,0003	$0,119 \times 10^{-6}$
Nhiệt độ chất lỏng, T_{po}	$^{\circ}\text{C}$	170	0,59	-0,0181	0,000114
Khối lượng riêng chất lỏng, ρ	kg/m^3	937,5	9,4	0,0032	0,000905
Chênh áp Δp	Pcal	5500	35	0,0005	0,000306
Hệ số giãn nở nhiệt, λ	$^{\circ}\text{C}$	27×10^6	$0,78 \times 10^{-6}$	1795,6	$1,96 \times 10^{-6}$
Độ nhớt của chất lỏng, μ	Pcal.s	604×10^{-6}	$9,1 \times 10^{-6}$	49,98	$0,207 \times 10^{-6}$
Hệ số đầu xuất, C	–	0,6	0,0015	9,990	0,000225
	–	$u(q_{ma})$	0,0394	$\sum [c_i u(x_i)]^2$	0,00155

Do đó, độ không đảm bảo đo chuẩn trong lưu lượng dòng $u(p_{ma})$ là 0,0394 kg/s và độ không đảm bảo đo mở rộng ($k = 2$) $u_{95}(q_{ma})$ là 0,0789 kg/s. Giá trị ước lượng tốt nhất của lưu lượng dòng là 5,994 kg/s cho độ không đảm bảo đo mở rộng tương đối là 1,31%. Bảng G.6 chỉ ra rằng chỉ những đóng góp có ý

nghĩa với độ không đảm bảo đo trong tốc độ dòng là nhiệt độ chất lỏng, khối lượng riêng chất lỏng, chênh áp và tương quan cơ bản của công thức Reader – Harris/ Gallagher(1998).

G.4 Ví dụ 4 – Tính toán độ không đảm bảo đo trong phép đo dòng (đầu xuất) được thực hiện bằng việc khảo sát vùng vận tốc sử dụng đồng hồ đo

G.4.1 Mô hình toán học

Phương pháp đo được biết như sự kiểm tra đồng hồ đo dòng, bao gồm việc chia mặt cắt ngang ống dẫn thành những phần dọc m'' và thực hiện phép đo chiều rộng, độ dày và vận tốc trung bình liên quan với chiều dọc i . Vận tốc trung bình, V_i , tại mỗi chiều dọc được tính toán từ phép đo vận tốc điểm được thực hiện tại một vài độ dày theo chiều dọc. Dòng được tính toán theo Công thức (G.33):

$$Q = F_s \sum b_i d_i V_i \tag{G.33}$$

Trong đó :

- Q là lưu lượng, đơn vị là mét khối trên giây.
- F_s là hệ số, được thừa nhận trở thành tính đồng nhất, mà nó liên quan với tổng rời rạc trên một số chiều dọc hạn chế đến tính toàn vẹn của hàm liên tục trên mặt cắt ngang;
- b_i là chiều rộng liên quan đến chiều dọc i .
- d_i là độ dày liên quan đến chiều dọc i .
- V_i là giá trị trung bình liên quan đến chiều dọc i .

G.4.2 Biến thiên đóng góp

Độ không đảm bảo đo chuẩn kết hợp tương đối trong phép đo được tính theo Công thức (G.34)^[6]:

$$u^*(Q)^2 = u_{m''}^{*2} + u_{cal}^{*2} + \sum_{i=1}^{m''} [(b_i d_i V_i)^2 (u_{b_i}^{*2} + u_{d_i}^{*2} + u_{v_i}^{*2})] / \left[\sum_{i=1}^{m''} b_i d_i V_i \right]^2 \tag{G.34}$$

Trong đó :

- $u^*(Q)$ là độ không đảm bảo đo chuẩn kết hợp tương đối ở đầu ra;
- $u_{b_i}^*, u_{d_i}^*, u_{v_i}^*$ là độ không đảm bảo đo chuẩn tương đối theo chiều rộng, chiều cao, và vận tốc trung bình được đo theo chiều dọc i ;
- u_{cal}^* là độ không đảm bảo đo tương đối theo những sai số hiệu chuẩn của đồng hồ đo dòng, thiết bị đo chiều rộng, thiết bị đo chiều cao, bằng $\sqrt{u_{cm}^{*2} + u_{bm}^{*2} + u_{ds}^{*2}}$. Giá trị thực tiễn ước lượng có thể được chấp nhận là 1 %;
- u_{cm}^* là độ không đảm bảo đo tương đối trong hiệu chuẩn đồng hồ đo dòng;
- u_{bm}^* là độ không đảm bảo đo tương đối trong hiệu chuẩn phép đo chiều rộng;
- u_{ds}^* là độ không đảm bảo đo tương đối trong hiệu chuẩn thiết bị đo siêu âm độ dày;
- $u_{m''}^*$ là độ không đảm bảo đo tương đối theo một số chiều dọc giới hạn;
- m'' là số chiều dọc.

Vận tốc trung bình, V_i , tại chiều dọc thứ i là trung bình của các giá trị đọc điểm của vận tốc được thực hiện tại một vài độ dày theo chiều dọc. Độ không đảm bảo đo V_i được tính toán theo Công thức (G.35):

$$u^*(V_i)^2 = u_{pi}^{*2} + \left(\frac{1}{n''}\right)(u_{cri}^{*2} + u_{ei}^{*2}) \quad (G.35)$$

Trong đó:

u_{pi}^* là độ không đảm bảo đo tương đối của vận tốc trung bình, V_i , theo một số độ dày giới hạn mà tại đó phép đo vận tốc được thực hiện theo chiều dọc, i ;

n'' là số độ dày theo chiều dọc mà tại đó phép đo vận tốc được thực hiện;

u_{cri}^* là độ không đảm bảo đo tương đối vận tốc điểm tại độ dày riêng biệt trong chiều dọc i do độ nhạy của đồng hồ đo dòng thay đổi;

u_{ei}^* là độ không đảm bảo đo tương đối trong vận tốc điểm tại độ dày riêng biệt trong chiều dọc i do sự dao động vận tốc trong dòng chảy.

Kết hợp Công thức (G.34) và (G.35) suy ra Công thức (G.36):

$$u^*(Q)^2 = u_{m^*}^{*2} + u_{cal}^{*2} + \sum_{i=1}^{m''} [(b_i d_i V_i)^2 (u_{bi}^{*2} + u_{di}^{*2} u_{Vi}^{*2})] \left/ \left[\sum_{i=1}^{m''} (b_i d_i V_i) \right]^2 \right. \quad (G.36)$$

Nếu chiều dọc của phép đo được đánh giá để mà các công suất của đoạn ống là khoảng bằng nhau và nếu độ không đảm bảo đo thành phần bằng từ chiều dọc đến chiều dọc, khi đó Công thức (G.36) đơn giản hoá thành Công thức (G.37):

$$u^*(Q) = \left\{ u_{m^*}^{*2} + u_{cal}^{*2} + \left(\frac{1}{m^*}\right) \left[u_b^{*2} + u_d^{*2} + u_p^{*2} + \left(\frac{1}{n^*}\right) (u_{cr}^{*2} + u_e^{*2}) \right] \right\}^{1/2} \quad (G.37)$$

Nếu yêu cầu tính toán độ không đảm bảo đo trong kiểm tra đồng hồ đo dòng từ những điểm đặc biệt sau:

- Số chiều dọc được dùng để đo: 20
- Số điểm thực hiện trong chiều dọc (0,2 và 0,8): 2.

Độ không đảm bảo đo thành phần (phần trăm) có thể đạt được theo ISO 748:1997^[6], Bảng E.1 đến E.6 như sau:

- $u_{m''}$ 2,5 % (Bảng E.6);
- u_{cal} 1,0 % (xem ở trên);
- u_b 0,5 % (Bảng E.1);
- u_d 0,5 % (Bảng E.2);
- u_p 3,5 % (Bảng E.4);
- u_{rc} 1,0 % (Bảng E.5);
- u_e 2,5 % (tại 0,2 độ dày) (Bảng E.3);
- u_e 2,5 % (tại 0,8 độ dày) (Bảng E.3);

TCVN 8114: 2009

CHÚ THÍCH: Các giá trị của độ không đảm bảo đo thành phần trong ISO 748, được diễn giải tại độ tin cậy là 95%, được chia đều và được biểu thị tại một độ lệch chuẩn.

Khi đó việc tính toán độ không đảm bảo đo phía đầu vào trở thành ước lượng Loại B khi độ không đảm bảo đo thành phần được cho trước trong ISO 748:1997, Phụ lục E, trên cơ sở những giá trị đọc trước và dữ liệu hiệu chuẩn.

G.4.3 Độ không đảm bảo đo chuẩn kết hợp

Độ không đảm bảo đo chuẩn kết hợp có thể được tính toán từ Công thức (G.37) suy ra Công thức (G.38):

$$\begin{aligned} u^*(Q) &= \left\{ u_m^{*2} + u_{cal}^{*2} + \left(\frac{1}{m^*} \right) \left[u_b^{*2} + u_d^{*2} + u_p^{*2} + \left(\frac{1}{n^*} \right) (u_{cr}^{*2} + u_e^{*2}) \right] \right\}^{1/2} & (G.38) \\ &= \left\{ 2,5^2 + 1,0^2 + \left(\frac{1}{20} \right) \left[0,5^2 + 0,5^2 + 3,5^2 + \left(\frac{1}{2} \right) (1,0^2 + 2,5^2) \right] \right\}^{1/2} \% \\ &= 2,84 \% \end{aligned}$$

Độ không đảm bảo đo mở rộng tại độ tin cậy 95 %, U_{95} , đạt được bằng cách áp dụng hệ số phủ $k = 2$ được tính trong Công thức (G.39).

$$\begin{aligned} U_{95}^*(Q) &= k u^*(Q) & (G.39) \\ &= 2 \times 2,84 \% \\ &= 5,68 \% \end{aligned}$$

Do vậy $U_{95}^*(Q) \approx 6\%$

Nếu giá trị ước lượng tốt nhất của dòng lưu lượng được đo, $\{Q\}$, đơn vị là mét khối trên giây, kết quả của phép đo được thể hiện như sau:

$$Q = \{Q\} \text{ m}^3/\text{s} \pm 0,06 \{Q\} \text{ m}^3/\text{s}, \text{ (Độ không đảm bảo đo mở rộng, hệ số phủ } k = 2, \text{ khoảng độ tin cậy } 95 \%).$$

G.5 Ví dụ 5 – Tính toán độ không đảm bảo đo trong phép đo dòng (đầu xuất) được thực hiện sử dụng trong các đập nước và khe suối

G.5.1 Mô hình toán học

Công thức tổng quát cho việc xác định lưu lượng thông qua một đập nước hoặc khe suối được nêu trong Công thức (G.40):

$$Q = C l_b l_h^n \quad (G.40)$$

Trong đó:

C là hệ số đầu xuất.

l_b là độ dài của đỉnh.

l_h là đầu đo.

n' là số mũ của l_h , thường là 1,5 cho loại đập nước loại hình chữ nhật và 2,5 cho hình chóp.

Chi tiết được cho trong khoảng của các tiêu chuẩn liên quan đối với những loại đập nước hoặc khe suối khác nhau.

G.5.2 Những biến có ảnh hưởng

Độ không đảm bảo đo chuẩn tương đối kết hợp (phần trăm) cho việc xác định độ lệch đầu ra có thể được thu được bằng công thức thay thế (G.40), các hệ số nhạy được thu được bởi phép lấy vi phân một phần của Công thức (G.40) suy ra Công thức (G.41):

$$u^*(Q) = (u_d^{*2} + u_{lb}^{*2} + n'^2 u_{lh}^{*2} + u_{cal}^{*2})^{1/2} \quad (\text{G.41})$$

Trong đó:

$u^*(Q)$ là độ không đảm bảo đo chuẩn tương đối kết hợp trong xuất đầu ;

u_d^* là độ không đảm bảo đo chuẩn tương đối trong hệ số xuất đầu;

u_{lb}^* là độ không đảm bảo đo chuẩn tương đối trong phép đo độ dài đỉnh;

u_{lh}^* là độ không đảm bảo đo chuẩn tương đối trong phép đo đầu đo;

u_{cal}^* là độ không đảm bảo đo chuẩn hiệu chuẩn thiết bị điều khiển từ tất cả những nguồn, trước đây là lỗi hệ thống hoặc là độ chệch.

Mũ, n' , được thừa nhận không phải là chủ thể trong độ không đảm bảo đo.

Đánh giá Loại A của độ không đảm bảo đo chiều rộng và phần đầu có thể được thực hiện bằng những lần quan trắc lặp lại của những khối lượng đó bởi người dùng. Như một sự lựa chọn, những số liệu đã được đề nghị (đánh giá Loại B) cho độ không đảm bảo đo của hệ số đầu ra là tốt cho độ không đảm bảo đo trong phép đo chiều rộng và phần đầu được cho trong tiêu chuẩn liên quan cho các đập nước và khe suối. Giá trị độ không đảm bảo đo sẽ bao gồm dung sai cho những sai số hiệu chuẩn thiết bị điều khiển, được biểu thị bằng u_{cal}^* , trong Công thức (G.41). Điều này vẫn tồn tại một hằng số từ giá trị quan trắc này đến giá trị quan trắc kia và sẽ không được giảm đi bởi giá trị trung bình của những lần quan trắc lặp lại.

Những giá trị điển hình cho độ không đảm bảo đo chuẩn tương đối trong phép đo xuất đầu ra được thực hiện bằng cách dùng một đập nước thành mỏng như sau (theo ISO 1438 -1 [7]):

– u_d^* 1,0 %

– u_{lb}^* 0,05 %

– u_{lh}^* 0,5 %

– u_{cal}^* 0,5 %.

TCVN 8114: 2009

Khi đó, việc tính toán độ không đảm bảo đo đầu vào là đánh giá Loại B của độ không đảm bảo đo khi độ không đảm bảo đo thành phần trong ISO 1438 -1 được dựa trên cơ sở những lần đo trước và dữ liệu hiệu chuẩn.

Khi đó, độ không đảm bảo đo chuẩn tương đối kết hợp, $u^*(Q)$, đơn vị phần trăm, ở đầu ra được tính toán theo Công thức (G.41):

$$\begin{aligned}u^*(Q) &= [1,0^2 + 0,05^2 + (1,5^2 \cdot 0,5^2) + 0,5^2]^{1/2} \% \\ &= 1,35 \%\end{aligned}$$

Độ không đảm bảo đo mở rộng với hệ số phủ $k = 2$ và độ tin cậy xấp xỉ 95 %, được tính toán như Công thức (G.42):

$$\begin{aligned}U_{95}^*(Q) &= ku^*(Q) && \text{(G.42)} \\ &= 2 \times 1,35 \% \\ &= 2,70 \%\end{aligned}$$

Nếu giá trị ước lượng tốt nhất của phép đo dòng, Q , được biểu thị bằng đơn vị mét khối trên giây, kết quả của phép đo được diễn đạt như sau:

$\{Q\} \text{ m}^3/\text{s} \pm 2,7 \{Q\} \text{ m}^3/\text{s}$ (độ không đảm bảo đo mở rộng, hệ số phủ $k = 2$, độ tin cậy xấp xỉ 95 %).

Phụ lục H

(tham khảo)

Hiệu chuẩn lưu lượng kế theo thiết bị chuẩn

H.1 Quy định chung

Phụ lục này mô tả ước lượng độ không đảm bảo đo của đồng hồ lưu lượng được hiệu chuẩn bằng thiết bị hiệu chuẩn với độ không đảm bảo đo đã biết. Nó còn bao gồm ước lượng độ không đảm bảo đo Loại A của những giá trị đọc đơn khi hiệu chuẩn đồng hồ đo.

H.2 Độ không đảm bảo đo thiết bị hiệu chuẩn

Khi đồng hồ đo lưu lượng được hiệu chuẩn bằng thiết bị hiệu chuẩn, khả năng tạo liên kết và độ không đảm bảo đo kết hợp của thiết bị hiệu chuẩn sẽ được xác định trước khi để hiệu chuẩn. Việc đánh giá độ lặp lại của thiết bị hiệu chuẩn sẽ còn được thực hiện để sử dụng khi đồng hồ đo đưa vào hiệu chuẩn được hiệu chuẩn duy nhất với giá trị đơn tại mỗi lưu lượng. Độ không đảm bảo đo kết hợp của thiết bị hiệu chuẩn, U_{CMC} , (“Khả năng đo và hiệu chuẩn” hoặc “độ không đảm bảo đo của thiết bị hiệu chuẩn”) được nhận từ tất cả các nguồn độ không đảm bảo đo ảnh hưởng đến thiết bị và được tính toán như cách mà nó diễn đạt độ không đảm bảo đo của khối lượng chất lỏng xuyên qua đồng hồ đo lưu lượng khi hiệu chuẩn. Do vậy, độ không đảm bảo đo gồm những phần sau:

- a) Độ không đảm bảo đo của thiết bị tham chiếu được dùng (bồn để thử, thiết bị thử loại Bell, hoặc cân trọng lượng,);
- b) Độ không đảm bảo đo của phép đo nhiệt độ/áp suất theo thiết bị tham chiếu và gắn với đồng hồ đo lưu lượng đưa vào hiệu chuẩn, bao gồm bất cứ công thức nào được cho để hiệu chỉnh lại giãn nở và nén;
- c) Độ không đảm bảo đo của những điểm chuyển đổi khi sử dụng phương pháp “standing start and stop”;
- d) Độ không đảm bảo đo trong thiết bị chống sét (sử dụng với phương pháp “xuất phát và dừng”);
- e) Độ không đảm bảo đo trong lực đẩy Acsimét khi dùng phương pháp cân.

U_{CMC} sẽ còn phản ánh những biến thiên của nhiệt độ và áp suất vận hành suốt trong quá trình hiệu chuẩn và bất kỳ độ không đảm bảo đo sinh ra từ qui trình tính toán thường được nhận từ sai số của đồng hồ đo hoặc hệ số K của đồng hồ đo lưu lượng trong quá trình hiệu chuẩn.

Trong hầu hết các trường hợp, U_{CMC} sẽ được biểu thị hoặc như phân số hoặc phần trăm và thường sẽ ở mức độ tin cậy ít nhất là 95%.

H.3 Sử dụng thiết bị hiệu chuẩn

H.3.1 Quy định chung

Trước khi bắt đầu hiệu chuẩn đồng hồ sử dụng thiết bị hiệu chuẩn, điều mong đợi từ việc hiệu chuẩn này sẽ là được hiểu rõ ràng sao cho để chứng chỉ hiệu chuẩn có thể sẽ bao tuyền số thích hợp về độ không đảm bảo đo được tính toán.

- a) Nếu độ không đảm bảo đo của mỗi phép đo phải được công bố, độ không đảm bảo đo kết hợp trong một phép đo giá trị đơn (U_{CS}) sẽ được công bố trong kết quả hiệu chuẩn; U_{CS} còn được công bố khi đồng hồ đo được đánh giá dựa vào những giới hạn chấp nhận.
- b) Nếu độ ổn định của đồng hồ vượt quá thời gian đối tượng quan tâm, độ không đảm bảo đo kết hợp trong giá trị trung bình (U_{CM}) sẽ cần được nêu.
- c) Nếu đồng hồ đo được sử dụng như một đồng hồ đo tham chiếu cho việc hiệu chuẩn những đồng hồ đo lưu lượng khác (theo phương pháp đồng hồ đo), độ không đảm bảo đo kết hợp (U_{CM}) sẽ được nêu lại .
- d) Nếu độ lặp lại của đồng hồ đo là đối tượng quan tâm, khi đó độ không đảm bảo đo của đối tượng quan tâm là độ không đảm bảo đo Loại A trong phép đo giá trị đơn (U_{AS}).

H.3.2 Hiệu chuẩn tại một số tốc độ dòng khác nhau với n lần đo trên một lưu lượng

H.3.2.1 Tại mỗi lưu lượng, sai số đồng hồ đo trung bình được tính toán theo Công thức (H.1)

$$\bar{E} = \sum_{j=1}^n E_j / n \quad (H.1)$$

trong đó

- \bar{E} là sai số đồng hồ đo trung bình, biểu thị bằng phân số.
- E_j là sai số đồng hồ thứ j , biểu thị bằng phân số.
- n là số lần đo tại lưu lượng đó.

Hệ số K trung bình được tính trong Công thức (H.2):

$$\bar{K} = \sum_{j=1}^n K_j / n \quad (H.2)$$

trong đó

- \bar{K} là hệ số K trung bình;
- K_j là hệ số K thứ j ;
- n là số lần đo tại lưu lượng đó.

H.3.2.2 Tại mỗi lưu lượng, độ không đảm bảo đo Loại A tổng thể trong sai số đồng hồ hoặc hệ số K , với độ tin cậy thấp nhất là 95 %, được tính toán.

Để giải thích cho qui trình trong cả hai số hạng tương đối và tuyệt đối, Công thức (H.3) cho việc tính toán số hạng tuyệt đối cho sai số đồng hồ đo và Công thức (H.4), trong những số hạng tương đối cho hệ số K :

$$U_{AS-overall-E} = k \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (E_j - \bar{E})^2}{(n-1)}} \quad (\text{H.3})$$

trong đó:

$U_{AS-overall-E}$ là độ không đảm bảo Loại A trong sai số đồng hồ đo;

\bar{E} là sai số đồng hồ đo trung bình, biểu thị bằng phân số.

E_j là sai số đồng hồ đo thứ j , biểu thị bằng phân số.

n là số lần đo tại lưu lượng đó.

k là hệ số phủ.

$$U_{AS-overall-E}^* = \frac{k}{\bar{K}} \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (K_j - \bar{K})^2}{(n-1)}} \quad (\text{H.4})$$

Trong đó:

$U_{AS-overall-E}^*$ là độ không đảm bảo Loại A trong trong hệ số K ;

\bar{K} là hệ số K trung bình.

E_j là hệ số K thứ j ;

n là số lần đo tại lưu lượng đó.

k là hệ số phủ.

Nếu mục đích của việc hiệu chuẩn là để chấp nhận độ lặp lại của đồng hồ đo, kết quả hoặc là U_{AS-E} hoặc U_{AS-K} khi thích hợp.

H.3.2.3 Tại mỗi lưu lượng, độ không đảm bảo đo Loại A trong sai số đồng hồ đo trung bình (trong các số hạng tuyệt đối) hoặc hệ số K trung bình (trong các số hạng tương đối) khi đó có thể được tính toán, từ Công thức (H.5) hoặc Công thức (H.6):

$$U_{AM-E} = \frac{U_{AS-overall-E}}{\sqrt{n}} \quad (\text{H.5})$$

$$U_{AM-K}^* = \frac{U_{AS-overall-K}^*}{\sqrt{n}} \quad (\text{H.6})$$

H.3.2.4 Tại mỗi lưu lượng, độ không đảm bảo đo kết hợp cho những giá trị đo đơn, được cho bởi Công thức (H.7)

$$U_{CS-E} = \sqrt{U_{AS-overall-E}^2 + U_{CMC}^2} \quad (\text{H.7})$$

$$U_{CS-K}^* = \sqrt{\left(\frac{U_{AS-overall-K}}{K}\right)^2 + U_{CMC}^{*2}} = \sqrt{U_{AS-overall-K}^{*2} + U_{CMC}^{*2}} \quad (H.8)$$

H.3.2.5 Tại mỗi lưu lượng, độ không đảm bảo đo kết hợp cho giá trị trung bình, được tính toán theo Công thức (H.9) (các số hạng tuyệt đối) hoặc (H.10) (cho các số hạng tương đối)

$$U_{CM-E} = \sqrt{U_{AM-E}^2 + U_{CMC}^2} \quad (H.9)$$

$$U_{CM-K}^* = \sqrt{\left(\frac{U_{AM-K}}{K}\right)^2 + U_{CMC}^{*2}} = \sqrt{U_{AM-K}^{*2} + U_{CMC}^{*2}} \quad (H.10);$$

Độ không đảm bảo đo được tính toán có thể khác nhau tại các lưu lượng khác nhau; trong trường hợp này chúng chỉ hiệu chuẩn sẽ công bố những giá trị đạt được tại mỗi lưu lượng. Tuy vậy, nếu độ không đảm bảo đo đơn được yêu cầu, chúng chỉ sẽ ghi rõ giá trị lớn nhất đạt được.

Phụ lục I

(tham khảo)

Độ không đảm bảo đo Loại A và Loại B trong mối quan hệ chung với độ không đảm bảo đo từ nguồn “ngẫu nhiên” và “hệ thống” của độ không đảm bảo đo

So sánh với ISO/TR 5168:1998^[9], Tiêu chuẩn này bao gồm các thay đổi quan trọng trong đó khái niệm và thuật ngữ về những thành phần “ngẫu nhiên” hoặc “hệ thống” của độ không đảm bảo đo không còn là loại được ưu tiên. Có hai lý do chính cho vấn đề này.

- a) Phù hợp với GUM, những thành phần của độ không đảm bảo đo do các nguyên nhân ngẫu nhiên hoặc các nguyên nhân có hệ thống, sau khi chúng được đánh giá, được xử lý tương tự nhau.
- b) Các thuật ngữ được sử dụng theo cách nên mơ hồ hay gây nhầm lẫn.

Hai đoạn sau được trích từ GUM (1995), Phụ lục E, 3.6 và 3.7:

“Thành phần độ không đảm bảo đo không phải là “ngẫu nhiên” hay “hệ thống”. Trạng thái tự nhiên của nó được qui định bởi việc sử dụng đại lượng thích hợp, hoặc chính thức hơn, trong ngữ cảnh đại lượng xuất hiện trong mô hình toán học mô tả phép đo đếm. Như vậy, khi đại lượng thích hợp của nó được dùng trong những ngữ cảnh khác, một thành phần “ngẫu nhiên” có thể trở thành thành phần “hệ thống”, và ngược lại.

Với những lý do nêu trên, khuyến nghị của INC-1 (1980)^[10] không phân loại các thành phần của độ không đảm bảo đo như hoặc là “ngẫu nhiên” hoặc là “hệ thống”. Trên thực tế, không cần đến việc phân loại khi có tính toán độ không đảm bảo đo chuẩn tổng hợp của kết quả đo. Tuy nhiên, khi những kí hiệu thuận lợi đôi khi có thể hữu dụng trong việc trao đổi thông tin và tranh luận, khuyến nghị của INC -1 (1980) qui định một kế hoạch phân loại hai phương pháp riêng biệt theo đó các thành phần độ không đảm bảo đo có thể được đánh giá, Loại "A" và Loại "B".

Khi một loạt các phép đo được thực hiện bằng một đại lượng thay đổi ngẫu nhiên, việc ước lượng giá trị của đại lượng có thể được thực hiện từ giá trị trung bình của các giá trị được đo, và ước lượng độ không đảm bảo đo do những ảnh hưởng ngẫu nhiên có thể được thực hiện từ dãy các giá trị đọc (xem Điều 6). Trong trường hợp này, giá trị “ngẫu nhiên” tương ứng với Loại A.

Tuy nhiên, trong một vài trường hợp thành phần của độ không đảm bảo do những tác động ngẫu nhiên được ước lượng sử dụng phương pháp loại B, và ngược lại, phương pháp loại A có thể được dùng để đánh giá thành phần của độ không đảm bảo đo mà nó do một tác động có hệ thống, như sai số trong hiệu chuẩn thiết bị điều khiển trung gian.

Như ví dụ về việc sử dụng đánh giá Loại B của độ không đảm bảo đo ngẫu nhiên, xem xét trường hợp một thiết bị điều khiển mà thiết bị hiển thị giá trị chỉ đo và hiển thị ba chữ số và chỉ dùng để đo một đại lượng. Điều này sẽ cho một sai số, được xác định bằng độ phân giải giới hạn của đầu ra mà nó ngẫu

TCVN 8114: 2009

nhiên về bản chất. Giá trị thực của đại lượng đo có thể nằm bất cứ chỗ nào trong dải $\pm 0,5 \times$ (giá trị của số có ý nghĩa nhỏ nhất) với xác suất bằng nhau, do đó trong dải này các giá trị có phân bố hình chữ nhật (xem 7.3).

Như ví dụ về việc dùng đánh giá Loại A của độ không đảm bảo đo có hệ thống, khi thiết bị đo được hiệu chuẩn dựa theo một vài chuẩn nào đó, quá trình hiệu chuẩn thường bao gồm việc lấy một số các số đọc. Các yếu tố của độ không đảm bảo đo liên quan đến việc hiệu chuẩn dẫn đến những tác động ngẫu nhiên khi đó sẽ được ước lượng theo phương pháp thống kê (loại A). Khi thiết bị đo được hiệu chuẩn được dùng trong phép lưu lượng hoặc khối lượng, việc ước lượng độ không đảm bảo đo trong phép đo lưu lượng phải bao gồm cả độ không đảm bảo đo trong hiệu chuẩn, một phần của nó do các tác động ngẫu nhiên và sẽ phải được đánh giá theo phương pháp Loại A. Tuy nhiên, trong việc đánh giá độ không đảm bảo đo của phép đo lưu lượng, những sai số trong hiệu chuẩn sẽ gộp chung những sai số trong đo lưu lượng trong phương thức có hệ thống. Ảnh hưởng của các sai số ngẫu nhiên trong quá trình hiệu chuẩn sẽ trở nên "lỗi thời" trong những ảnh hưởng có tính chất hệ thống.

Độc lập với thuật ngữ, nói chung hiển nhiên là phương pháp nào phải được dùng để đánh giá lượng những thành phần khác nhau của độ không đảm bảo đo trong phép đo lưu lượng.

Phụ lục J

(tham khảo)

Trường hợp đặc biệt dùng hai hay nhiều đồng hồ mắc song song

Khi hai hoặc nhiều đồng hồ cùng hoạt động song song trên một hệ thống đo, giá trị tốc độ dòng chảy tổng có được bởi tổng các giá trị từ mỗi đồng hồ đo. Trong trường hợp này, độ không đảm bảo đo tốc độ dòng chảy tổng được đánh giá như mô tả trong Phụ lục này:

Chia nguồn độ không đảm bảo đo thành

- Những độ đo đảm bảo tạo ra những tác động giống nhau trên mỗi đồng hồ đo, và do đó có tương quan giữa những đồng hồ đo; và
- Những độ đo không đảm bảo tạo ra những ảnh hưởng khác nhau trên mỗi đồng hồ đo, và do đó chúng không tương quan.

Khi đó độ không đảm bảo đo trong mỗi danh sách được suy ra từ những độ không đảm bảo đo kết hợp cho các nguồn đo có tương quan giữa các đồng hồ đo, $u_{c,corr}(y)$ [xem Công thức (J.1)] và những nguồn đó không tương quan với nhau, $u_{c,uncorr}(y)$ [xem Công thức J.2]. Việc gộp chung độ không đảm bảo đo từ mỗi đồng hồ đo tùy thuộc vào lưu lượng qua đồng hồ đo đó và việc phân tích được đơn giản việc xem xét độ không đảm bảo đo tuyệt đối do đó

$$u_{c,corr}(y) = c_1 u(x_{1,corr}) + c_2 u(x_{2,corr}) + \dots + c_n u(x_{n,corr}) = \sum_{i=1}^n [c_i u(x_{i,corr})] \quad (J.1)$$

Công thức (J.1) 100% giả định mối tương quan.

$$\begin{aligned} u_{c,uncorr}(y) &= \left\{ [c_1 u(x_{1,uncorr})]^2 + [c_2 u(x_{2,uncorr})]^2 + \dots + [c_n u(x_{n,uncorr})]^2 \right\}^{1/2} \\ &= \left\{ \sum_{i=1}^n [c_i u(x_{i,uncorr})]^2 \right\}^{1/2} \end{aligned} \quad (J.2)$$

Nếu những yếu tố trong một trong hai danh sách mà chính chúng có tương quan với nhau thì khi đó phương pháp kết hợp sẽ theo với C.6. Khi đó độ không đảm bảo đo kết hợp được kết hợp lại để đạt được một độ không đảm bảo đo kết hợp tổng thể trong dòng tổng.

Khi đó dòng tổng, Q được cho bởi

$$Q = q_1 + q_2 + \dots + q_N$$

Hệ số nhạy, c_i , trong Công thức (J.1) và (J.2) tất cả đều bằng 1.

$$u_c(Q) = \left[(u_{c,corr})^2 + (u_{c,uncorr})^2 \right]^{1/2} = \left\{ \left[\sum_{i=1}^N u(x_{i,corr}) \right]^2 + \left[\sum_{i=1}^N u(x_{i,uncorr}) \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (J.3)$$

TCVN 8114: 2009

Trong trường hợp đặc biệt khi các độ không đảm bảo tuyệt đối, u_i , đều bằng nhau, công thức (J.3) có thể được làm đơn giản hoá. Tuy vậy, vì một vài thành phần của u_i sẽ là tỉ lệ với lưu lượng, nên độ không đảm bảo đo của tất cả đồng hồ không thể bằng nhau trừ khi đồng hồ giống nhau và lưu lượng chảy qua chúng là bằng nhau. Khi những điều kiện này được thoả mãn, Công thức (J.3) được đơn giản hoá thành Công thức (J.4):

$$u_c(Q) = N \left\{ [u(x_{i,corr})]^2 + \frac{[u(x_{i,uncorr})]^2}{N} \right\}^{1/2} \quad (J.4)$$

trong đó $u(x_{i,corr})$ và $u(x_{i,uncorr})$ là những thành phần có tương quan và không tương quan của độ không đảm bảo đo của đồng hồ đo độc lập.

Ví dụ, trong trường hợp phép đo theo cơ sở lỗ tiết lưu mắc song song, những nguồn sau của độ không đảm bảo đo sẽ gộp chung những ảnh hưởng giống nhau trên mỗi đồng hồ và do đó mối tương quan giữa các đồng hồ đo:

- Hệ số xả;
- Hệ số giãn nở.

Ở một chừng mực nào đó độ không đảm bảo đo của phép đo trong mỗi đồng hồ đo mắc song song là độc lập với nhau, những nguồn sau của độ không đảm bảo đo sẽ gộp chung những ảnh hưởng khác nhau trong mỗi đồng hồ và do đó chúng không tương quan:

- Đường kính đường ống;
- Đường kính lỗ tiết lưu;
- chênh áp;
- Khối lượng riêng;
- Việc tính toán.

Độ không đảm bảo đo sinh ra trong bất kỳ phép đo nào tác động giống nhau trong mọi hệ thống, như do việc sử dụng những thiết bị giống nhau, phải được kể đến trong danh sách đầu tiên.

Phụ lục K

(tham khảo)

Kỹ thuật khác cho việc phân tích độ không đảm bảo đo

Lý thuyết toán học cơ bản cho việc phân tích độ không đảm bảo đo trên cơ sở giả định rằng độ không đảm bảo đo được bao hàm là nhỏ so với những giá trị được đo (ngoại trừ khi nó được đo gần với điểm không). Điều này thật sự đúng cho công việc chuẩn mà những lý thuyết cơ bản được phát triển và cũng đúng cho nhiều ứng dụng công nghiệp. Tuy nhiên, không thể đúng cho tất cả tình hình công nghiệp; khi độ không đảm bảo đo là lớn so với những giá trị đo thì lý thuyết toán học không áp dụng được, kỹ thuật phân tích Monte Carlo có thể nhận giá trị lớn trong đánh giá những giá trị kết hợp của độ không đảm bảo đo. Trong phương pháp này, rất nhiều tính toán tốc độ dòng chảy được thực hiện, trong mỗi phép tính những giá trị khác nhau được qui cho mỗi biến đầu vào. Mỗi giá trị đầu vào được lấy ngẫu nhiên từ phân bố giả định cho những tham số đó, và bằng cách này phân bố của tốc độ dòng chảy ra được tính toán.

Để đạt được một phân bố đại diện cho những giá trị ra yêu cầu hàng nghìn phép tính toán được thực hiện và có thể tràn bộ nhớ máy tính, kỹ thuật Monte Carlo trở thành một phương pháp có thể thực hiện được để việc đánh giá độ không đảm bảo đo kết hợp. GUM không xử lý riêng biệt những giá trị lớn độ không đảm bảo đo và trên cơ sở này không thảo luận về kỹ thuật Monte Carlo; tuy nhiên những trường hợp gặp phải độ không đảm bảo đo tương đối lớn có thể tìm phương pháp có giá trị đáng kể.

Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] TCVN 8113-1 : 2009 (ISO 5167-1:2003), *Đo dòng lưu chất bằng các thiết bị chênh áp gắn vào đường ống có tiết diện tròn chảy đầy – Phần 1: Nguyên lý chung và yêu cầu*
- [2] DIETRICH, C.F. *Uncertainty, calibration and probability*. Adam Hilger, London. (1972)
- [3] ISO/TR 7066-1, *Assessment of uncertainty in the calibration and use of flow measurement devices – Part 1: Linear calibration relationships*
- [4] ISO 7066-2, *Assessment of uncertainty in the calibration and use of flow measurement devices – Part 2: Non-linear calibration relationships*
- [5] TCVN 8113-2: 2009 (ISO 5167-2:2003), *Đo dòng lưu chất bằng các thiết bị chênh áp gắn vào đường ống có tiết diện tròn chảy đầy – Phần 2: Tắm tiết lưu*
- [6] ISO 748:1997, *Liquid flow measurement in open channels – Velocity area methods*
- [7] ISO 1438-1, *Water flow measurement in open channels using weirs and Venturi flumes – Thin plate weirs*
- [8] READER-HARRIS, M.J., AND SATTARY, J.A. *The orifice plate discharge coefficient equation – the equation for ISO 5167-1*. In Proc. Og 14th North Sea Flow Measurement Workshop, Peebles, paper 24, October 1996. East Kibride, Glasgow: National Engineering Laboratory
- [9] ISO/TR 5168:1998, *Measurement of fluid Flow-Evaluation of uncertainties*
- [10] Recommendation INC-1:1980, *Expression of experimental uncertainties*
-